

# PENGARUH PERUBAHAN TATAGUNA LAHAN TERHADAP DEBIT LIMPASAN DRAINASE DI KOTA BUKITTINGGI

Merry Yelza<sup>1)</sup>, Joko Nugroho<sup>2)</sup>, Suardi Natasaputra<sup>3)</sup>

- 1) Program Studi Magister Pengelolaan Sumber Daya Air - Institut Teknologi Bandung Jl. Ganesha No.10 Bandung 40132, e-mail : [merry.yelza@gmail.com](mailto:merry.yelza@gmail.com)
- 2) Kelompok Keahlian Sumber Daya Air Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung Jl. Ganesha No.10 Bandung 40132, e-mail : [joko1974@yahoo.com](mailto:joko1974@yahoo.com)
- 3) Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air Propinsi Jawa Barat , e-mail : [suardi\\_n@yahoo.co.id](mailto:suardi_n@yahoo.co.id)

## ABSTRACT

*Land use has influence on the surface run off which can be seen from the run off coefficient number. Land use development plan of Bukittinggi Municipality with total area 2523,90 Ha has created the increasing number of run off coefficient which is 0,47 in 2010 becomes 0,50 in 2030.*

*The formula of rational method can be used to determine the run off discharge in Bukittinggi Municipality. The procedure has concluded that the capacity of primary drainage channel can capture the run off discharge for 20 years later. Nevertheless, this estimation must consider the upstream discharge which is bigger than the capacity of the tunnel. Therefore, to reduce run off discharge, normalization discourse must be conducted to increase the capacity of the channel.*

*One of the strategies to minimize run off discharge in the future is by carrying out conservation. Conservation in agriculture and settlements areas can be held by making retention pools. The 10% space for retention pools in City Spatial Plan can capture rainfall discharge as well as runoff discharge from roads around these two areas. It prevents direct discharge to the river so that reducing run off discharge into the river.*

*Key words: drainage, run off coefficient, run off discharge, conservation*

## ABSTRAK

Tata guna lahan mempunyai pengaruh terhadap besarnya air larian, yang dapat diketahui dari besarnya nilai koefisien limpasan. Rencana pengembangan penggunaan lahan Kota Bukittinggi pada tahun 2030 mengakibatkan peningkatan nilai koefisien limpasan (C) dibandingkan dengan penggunaan lahan pada tahun 2010. Koefisien limpasan (C) untuk Kota Bukittinggi dengan luas daerah 2523,90 Ha pada tahun 2010 adalah 0.47 meningkat menjadi 0.50 pada tahun 2030.

Dengan menggunakan metode Rasional dapat dihitung debit limpasan di Kota Bukittinggi. Dari hasil perhitungan didapat bahwa kapasitas saluran drainase primer masih mampu untuk menampung debit limpasan yang terjadi di Kota Bukittinggi untuk 20 tahun ke depan. Namun perlu diperhitungkan debit limpasan dari hulu maka  $Q_{\text{limpasan}} > Q_{\text{saluran}}$ , sehingga untuk memperkecil limpasan yang terjadi diperlukan normalisasi untuk memperbesar kapasitas saluran.

Untuk memperkecil limpasan air hujan di masa yang akan datang perlu adanya upaya konservasi terutama pembuatan kolam tampungan di areal pertanian dan permukiman. Dengan menyediakan 10% luas lahan pertanian dan permukiman untuk dijadikan kolam tampungan dalam Rencana Tata Ruang Kota maka kelebihan air hujan yang jatuh di areal pertanian dan permukiman, termasuk limpasan dari jalan di sekitar areal pertanian dan permukiman dapat ditampung pada kolam-kolam penampungan tidak langsung dibuang ke sungai, sehingga memperkecil debit limpasan yang masuk ke sungai.

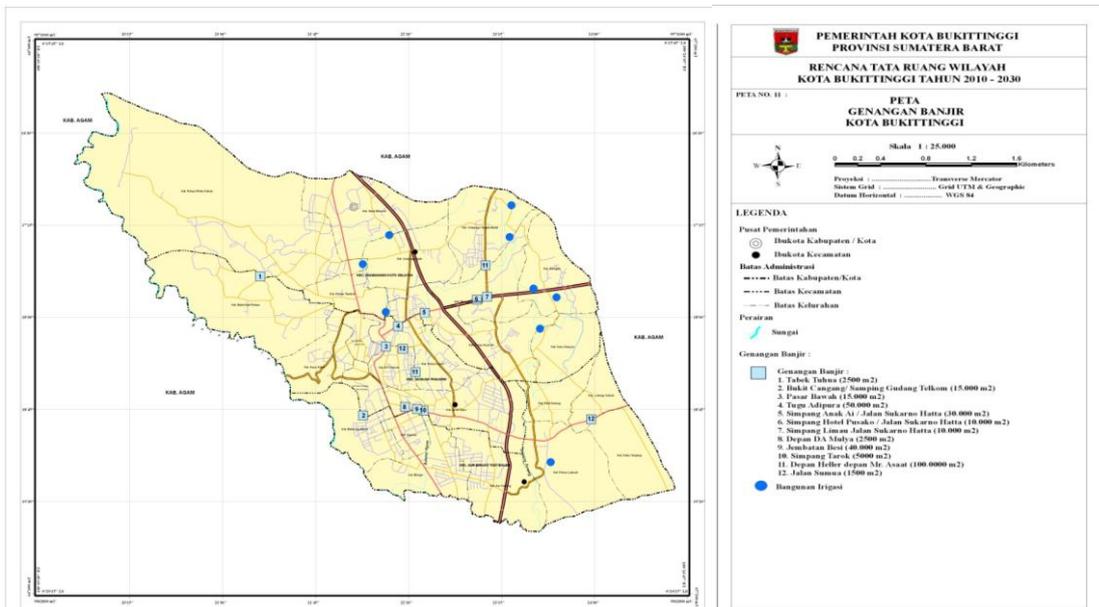
Kata kunci : drainase, koefisien limpasan, debit limpasan, konservasi

## PENDAHULUAN

Permasalahan melimpasnya air dari drainase adalah hal “lumrah” yang sering dialami setiap musim hujan terjadi. Keterbiasaan dengan keadaan ini mengakibatkan masalah drainase dianggap bukan persoalan yang penting. Genangan banjir baru dianggap mengganggu bila sudah menyebabkan lumpuhnya aktivitas lalu lintas karena badan jalan sudah digenangi air dan tidak bisa lagi dilalui.

Perkembangan kota yang diikuti dengan meningkatnya jumlah penduduk di Kota Bukittinggi menyebabkan terjadi alih fungsi lahan menjadi areal permukiman. Adanya perubahan struktur tanah dari persawahan menjadi areal permukiman mengakibatkan terganggunya daya resap tanah sehingga aliran permukaan (*run off*) menjadi semakin besar. Pada akhirnya kondisi inilah yang menyebabkan timbulnya genangan di beberapa lokasi karena debit limpasan yang ada sudah tidak dapat lagi tertampung oleh kapasitas saluran.

Dari RTRW Kota Bukittinggi 2010-2030 diketahui terdapat 12 (dua belas) titik genangan banjir seperti terlihat pada Gambar 1.1 berikut ini.



Gambar 1. Peta Genangan Banjir di Kota Bukittinggi (sumber : RTRW Kota Bukittinggi, 2010)

Persoalan-persoalan eksisting berkaitan dengan sistem drainase di kota Bukittinggi secara umum adalah sebagai berikut:

- Tidak mengalirnya air dari badan jalan ke saluran sehingga cenderung terjadi genangan air pada saat hujan.
- Kurang seragamnya dimensi saluran yang mengakibatkan meluapnya air hujan ke jalan.
- Kurang berfungsinya tali air, sebagai tempat mengalirnya air hujan dari badan jalan ke saluran, hal ini dikarenakan kurangnya pemeliharaan, yang mengakibatkan tersumbatnya tali air tersebut akibat pengendapan kotoran atau sampah.
- Banyaknya sampah dan lumpur yang menyebabkan penyumbatan aliran air dan kapasitas saluran menjadi kecil sehingga tidak mampu menampung debit air hujan yang masuk terutama saat hujan lebat. Hal ini berkaitan dengan kurangnya tingkat kesadaran masyarakat terhadap kebersihan saluran.

Tujuan yang ingin dicapai dalam studi ini adalah:

1. Mengetahui debit limpasan drainase di Kota Bukittinggi dengan metode rasional
2. Menganalisis perubahan koefisien limpasan untuk tata guna lahan eksisting dan rencana tata ruang tahun 2030 terhadap debit limpasan drainase di Kota Bukittinggi

3. Merumuskan solusi penanganan limpasan drainase berupa upaya konservasi air yang dapat dilakukan Pemerintah Daerah dengan memperhatikan peta geologi Kota Bukittinggi

### LOKASI STUDI

Lokasi studi meliputi Kota Bukittinggi mempunyai luas  $\pm 25,239 \text{ Km}^2$  (2.523,90 ha) atau sekitar 0,06 % dari luas Propinsi Sumatera Barat. Penggunaan lahan tahun 2010 dan rencana pola ruang Kota Bukittinggi yang telah ditetapkan dalam RTRW Kota Bukittinggi 2030 dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 di bawah ini.

**Tabel 1. Luas Penggunaan Lahan Kota Bukittinggi tahun 2010**

NO	PENGGUNAAN LAHAN	LUAS , Ha	%
1	Pemukiman	635.62	25.18
2	Tanah Terbuka	175.55	6.96
3	Jalan	49.89	1.98
4	Tegalan	545.48	21.61
5	Hutan	271.54	10.76
6	sawah	633.10	25.08
7	Perkantoran	35.57	1.41
8	Lapangan Olahraga	9.71	0.38
9	Perdagangan dan jasa	87.75	3.48
10	Fasos dan Fasum	3.53	0.14
11	Kesehatan	6.29	0.25
12	Taman Kota	1.55	0.06
13	Pendidikan	37.24	1.48
14	peribadatan	3.30	0.13
15	Khusus Militer	8.77	0.35
16	TPU	2.33	0.09
17	Industri	7.57	0.30
18	Teminal	5.93	0.23
19	Kolam	2.52	0.10
20	Cagar Budaya	0.31	0.01
21	Stasiun	0.34	0.01
<b>Jumlah</b>		<b>2523.90</b>	<b>100</b>

Sumber : RTRW Kota Bukittinggi, 2010

**Tabel 2. Rencana Pola Ruang Kota Bukittinggi (Luas-Ha)**

NO	PENGGUNAAN LAHAN	LUAS,	%
1	Kawasan Ngarai Sianok	250.06	9.91
2	RTH/Taman Kota	441.49	17.49
3	Sempadan Ngarai	238.51	9.45
4	Permukiman kepadatan tinggi	358.66	14.21
5	Permukiman kepadatan sedang	397.93	15.77
6	Permukiman kepadatan rendah	402.07	15.93
7	Perdagangan dan Jasa	208.76	8.27
8	Kawasan Perkantoran	56.89	2.25
9	Kawasan fasilitas dan Pelayanan umum	160.75	6.37
10	Kawasan Pertahanan dan Keamanan	8.77	0.35
<b>Jumlah</b>		<b>2523.90</b>	<b>100</b>

Sumber : RTRW Kota Bukittinggi, 2010

Pada Gambar 2. Di bawah ini dapat dilihat tata guna lahan tahun 2010 dan tahun 2030.



**Gambar 2. Grafik Tata guna lahan Kota Bukittinggi tahun 2010 dan tahun 2030.**

Pada Gambar 2 di atas dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan pada lahan terbangun dan penurunan ruang terbuka hijau. Hal ini akan menyebabkan daya resap tanah menjadi berkurang dan limpasan permukaan semakin bertambah.

## LANDASAN TEORI

Sistem jaringan drainase merupakan bagian dari *infrastruktur* pada suatu kawasan. Drainase masuk pada *kelompok infrastruktur air* pada pengelompokan infrastruktur wilayah, selain itu ada kelompok jalan, kelompok sarana transportasi, kelompok pengelolaan limbah, kelompok bangunan kota, kelompok energi dan kelompok telekomunikasi ( Grigg 1988, dalam Suripin, 2004 ).

Sudah disadari bersama bahwa pada sebagian besar perencanaan, evaluasi dan monitoring bangunan sipil memerlukan analisis hidrologi, demikian juga dalam perencanaan, evaluasi dan monitoring sistem jaringan drainase di suatu perkotaan atau kawasan. Analisis hidrologi secara umum dilakukan guna mendapatkan karakteristik hidrologi dan meteorologi pada kawasan yang menjadi obyek studi (Mutaqin, 2006).

### Menghitung Hujan Kawasan

Data hujan yang diperoleh dari alat penakar hujan merupakan hujan yang hanya terjadi pada suatu tempat atau titik saja (*point rainfall*). Mengingat hujan sangat bervariasi terhadap tempat (*space*), maka untuk kawasan yang luas, satu alat penakar hujan tidaklah cukup untuk menggambarkan curah hujan wilayah tersebut, oleh karena itu di berbagai tempat pada daerah aliran sungai tersebut dipasang alat penakar hujan untuk mendapatkan gambaran mengenai sebaran hujan di seluruh daerah aliran sungai.

Beberapa metode untuk mendapatkan curah hujan wilayah adalah dengan : cara rata-rata Aljabar, Poligon Thiessen dan Isohyet. Dalam kajian ini, analisa curah hujan wilayah digunakan metode poligon thiessen mengingat pos penakar hujan tidak tersebar merata.

### Metode Polygon Thiessen

Metode perhitungan hujan daerah ini digunakan apabila titik pengamatan di dalam daerah itu tidak tersebar merata. Perhitungan hujan rata-rata daerah dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh tiap titik pengamatan. Cara ini didasarkan atas cara rata-rata timbang (*weighted average*).

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

$$\bar{d} = \sum_{i=1}^n p_i d_i \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

- A = Luas Area (km<sup>2</sup>, ha)
- $\bar{d}$  = Tinggi curah hujan wilayah (mm)
- d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub> ... d<sub>n</sub> = Tinggi curah hujan pada pos penakar 1, 2 ... 3
- A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> ... A<sub>n</sub> = Luas daerah pengaruh pos penakar 1, 2 ... 3

**Analisis Distribusi Frekuensi**

Hujan rancangan merupakan kemungkinan tinggi hujan yang terjadi dalam kala ulang tertentu sebagai hasil dari rangkaian analisis hidrologi yang biasa disebut analisis frekuensi curah hujan. Analisis frekuensi sesungguhnya merupakan prakiraan dalam arti *probabilitas* untuk terjadinya suatu peristiwa hidrologi dalam bentuk hujan rancangan yang berfungsi sebagai dasar perhitungan perencanaan hidrologi untuk antisipasi setiap kemungkinan yang akan terjadi.

Analisis frekuensi ini dilakukan dengan menggunakan teori *probability distribution*, antara lain Distribusi Normal, Distribusi Log Normal, Distribusi Log Person Tipe III dan Distribusi Gumbel ( Soewarno, 1995 ).

**Intensitas Hujan**

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan persatuan waktu. Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan berlangsung intensitasnya cenderung makin tinggi dan makin besar periode ulangnya makin tinggi pula intensitasnya. Apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia, yang ada hanya data hujan harian maka intensitas hujan dapat dihitung dengan Persamaan Mononobe :

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

Dimana:

- I = intensitas hujan (mm / jam ).
- R<sub>24</sub> = curah hujan maksimum dalam sehari (mm).
- t = lamanya hujan (jam).

**Metode Rasional**

Metode Rasional dapat menggambarkan hubungan antara debit limpasan dengan besar curah hujan secara praktis berlaku untuk luas DAS hingga 5.000 hektar. Dua komponen utama ialah waktu konsentrasi (t<sub>c</sub>) dan intensitas curah hujan (I). Persamaan yang digunakan menurut **SNI 03-2415-1991** adalah:

$$Q = 0,00278 CIA \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

- C = Koefisien limpasan yang merupakan fungsi penutup dan kemiringan lahan.
- I = Intensitas hujan (mm/jam).
- A = Luas daerah tangkapan air (ha).
- Q = debit puncak banjir (m<sup>3</sup>/s)

Jika daerah aliran terdiri dari berbagai macam penggunaan lahan dengan koefisien aliran yang berbeda, nilai C pada daerah aliran dapat dengan persamaan berikut:

$$C_{DAS} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots\dots\dots (5)$$

dimana :

- A<sub>i</sub> = luas lahan dengan jenis penutup tanah i (ha),
- C<sub>i</sub> = koefisien limpasan jenis penutup tanah i,
- n = jumlah jenis penutup lahan.

**Waktu Konsentrasi ( tc )**

Waktu konsentrasi suatu DAS adalah waktu yang diperlukan oleh air hujan yang jatuh untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke tempat keluaran DAS ( titik kontrol ) setelah tanah menjadi jenuh dan depresi-depresi kecil terpenuhi. Dalam hal ini diasumsikan bahwa jika durasi hujan sama dengan waktu konsentrasi, maka setiap bagian DAS secara serentak telah menyumbangkan aliran terhadap titik kontrol.

Salah satu metode yang digunakan untuk memperkirakan waktu konsentrasi adalah rumus Kirpich:

$$t_o = \left( \frac{0,87L^2}{1000S} \right)^{0,385} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

- t<sub>o</sub> = waktu konsentrasi ( jam ).
- L = panjang saluran utama ( km ).
- S = kemiringan rata-rata saluran utama ( m/m ).

**METODE PENELITIAN**

Proses pelaksanaan studi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Pengumpulan Data meliputi: peta topografi, peta tata guna lahan, peta geologi permukaan dan data curah hujan.
- b. analisa curah hujan harian maksimum diusahakan menggunakan data berasal dari stasiun hujan yang terdekat dengan lokasi studi. Untuk menghitung curah hujan harian maksimum setiap periode ulang tertentu dapat digunakan beberapa metode distribusi statistik.
- c. Analisa intensitas curah hujan, menggunakan metode Mononobe karena yang tersedia data curah hujan harian
- d. Analisa debit banjir menggunakan rumus rasional
- e. Analisa penyebab terjadinya daerah genangan banjir dengan memperhatikan kemiringan lahan, geologi permukaan dan tata guna lahan serta pengamatan di lapangan
- f. Alternatif penanganan dengan beberapa metoda bertujuan untuk memperkecil genangan yang terjadi saat curah hujan maksimum terjadi, dikaitkan dengan Rencana Tata Ruang Wilayah dan Masterplan Drainase Kota Bukittinggi.

**ANALISA DAN PEMBAHASAN**

**Koefisien Limpasan (C)**

Untuk nilai C (koefisien limpasan) pada kajian ini menggunakan nilai koefisien limpasan, C yang ditetapkan oleh **SNI 03-2415-1991**. nilai C yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

**Tabel 3a. Nilai Koefisien Limpasan yang Digunakan Dalam Perhitungan**

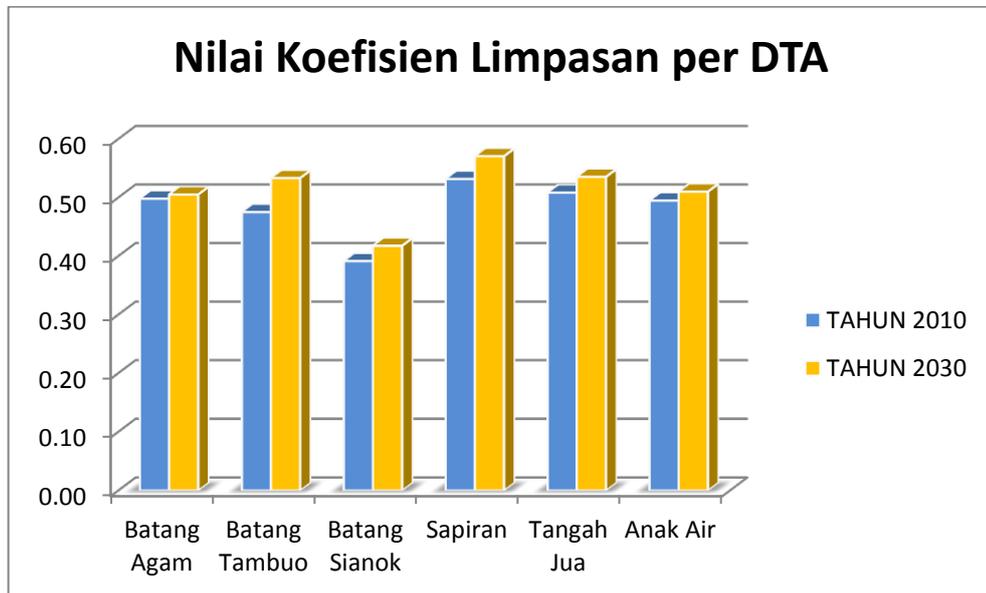
Karakteristik Tanah	Tata Guna Lahan	(C)	Nilai C yang Digunakan
Geluh dan Sejenisnya	Pertanian Padang Rumput Hutan	<b>0.40</b>	Untuk daerah pertanian, yaitu sawah dan tegalan diambil nilai C = 0.45 karena jenis tanah di Bukittinggi terdiri dari lanau/geluh dan lempung.
		0.35	
		0.30	
Lempung dan sejenisnya	Pertanian Padang Rumput Hutan	<b>0.50</b>	Untuk hutan; diambil nilai C = 0.35, yaitu nilai tengah dari C hutan dengan jenis tanah geluh dan jenis tanah lempung
		0.45	
		0.40	

**Tabel 3b. Nilai Koefisien Limpasan yang Digunakan Dalam Perhitungan**

Jenis Daerah	Koefisien Limpasan	Nilai C yang Digunakan
Daerah Perdagangan Kota Sekitar Kota	0,70 – 0,95 0,50 – 0,70	Diambil nilai C = 0.80 mengingat Kota Bukittinggi merupakan Kota Kecil dengan luas 2523,90 Ha
Daerah Permukiman Satu rumah Banyak rumah, terpisah Banyak rumah, rapat Pemukiman, Pinggiran kota Apartemen	0,30 - 0,50	Untuk pemukiman diambil C = 0.5 karena mengingat beragamnya jenis rumah yang ada di bukittinggi maka diambil nilai rata-rata C untuk pemukiman Untuk perkantoran , fasilitas umum dan social diambil dari pemukiman yaitu C = 0.70 (apartemen) mengingat perkantoran juga berupa bangunan
	0,40 – 0,60	
	0,60 - 0,75	
	0,25 – 0,40 0.50 – 0.70	
Daerah industry Ringan padat	0.50-0.80 0.60-0.90	C = 0.65 karena industri yang ada berupa <i>home industry</i>
Lapangan, kuburan dan sejenisnya	0.10-0.25	Lapangan olahraga, TPU diambil C = 0.25, dengan mempertimbangkan rencana perubahan keadaan daerah di masa yang akan datang
Halaman, jalan kereta api dan sejenisnya	0.20-0.35	Stasiun, diambil C = 0.35 dengan mempertimbangkan rencana perubahan keadaan daerah di masa yang akan datang
Lahan tidak terpelihara	0.10-0.30	Lahan terbuka diambil nilai C = 0.30, dengan mempertimbangkan rencana perubahan keadaan daerah di masa yang akan datang
Kondisi Permukaan	Koefisien Limpasan	Nilai C yang Digunakan
Jalan Aspal Aspal dan Beton Batu bata dan batako	0,70 – 0,95 0,70 -0,85	Jalan Diambil nilai C = 0.8 karena tidak semua jalan beraspal, yang tidak dirinci dalam tata guna lahan
Halaman berumput, tanah pasir Datar, 2% Rata-rata, 2-7% Curam, 7% atau lebih	0.05-0.10	Nilai C untuk Kolam disamakan dengan padang rumput dengan C = 0.15 karena mampu menahan air hujan, meningkatkan masuknya air ke dalam tanah melalui infiltrasi
	0.10-0.15	
	0.15-0.20	

Berdasarkan SNI 03-2415-1991 Metode Rasional secara praktis berlaku untuk luas DAS hingga 5000 hektar. Luas Kota Bukittinggi adalah 2523,9 Ha masih memenuhi persyaratan batasan luas

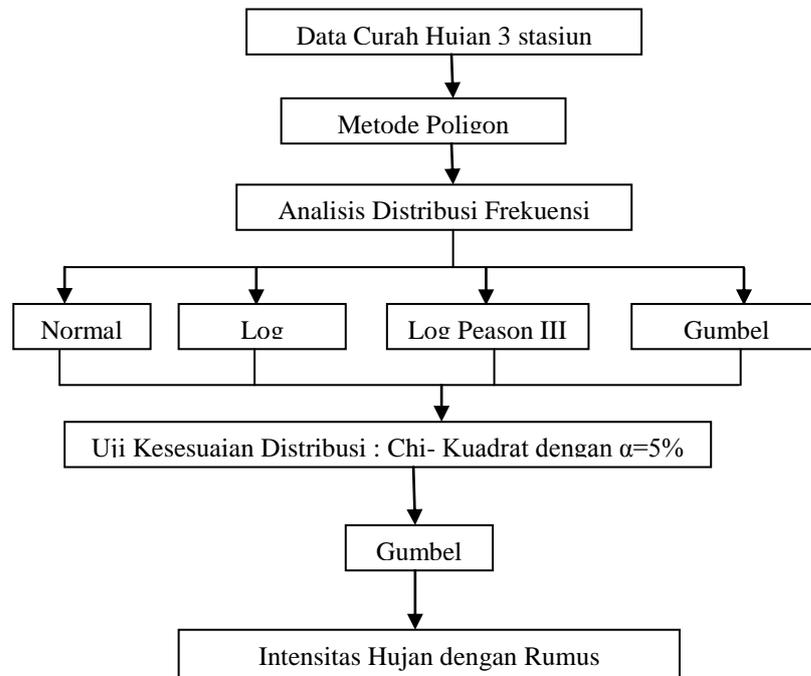
daerah tangkapan aliran (DTA) menurut metode rasional. Perhitungan nilai C berdasarkan penggunaan lahan tahun 2010 dan rencana penggunaan lahan 2030 dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3 Grafik Nilai Koefisien limpasan Per DTA Di Kota Bukittinggi

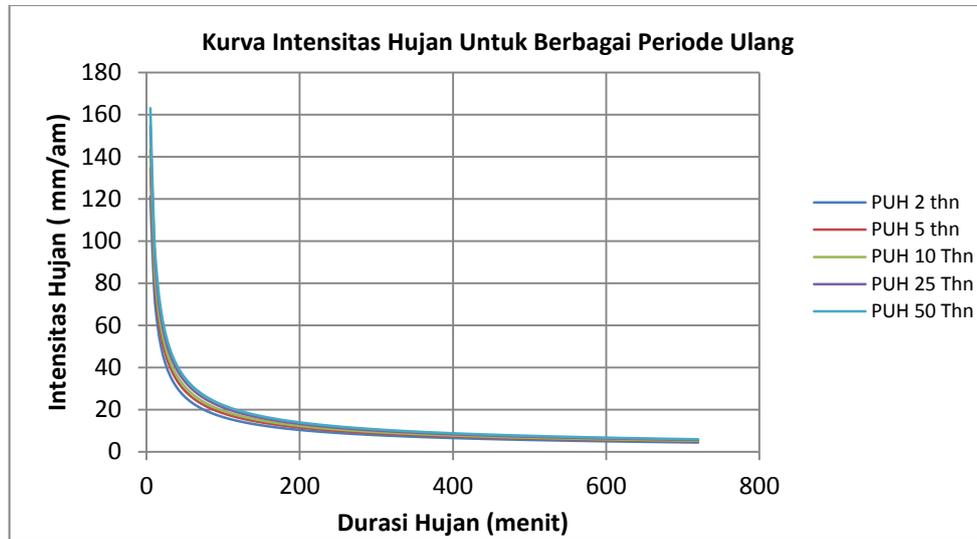
### Intensitas Hujan (I)

Intensitas hujan dihitung dari perhitungan curah hujan rencana dengan langkah-langkah perhitungan seperti pada bagan berikut :



Gambar 4 Alur Perhitungan Intensitas Hujan

hubungan antara intensitas curah hujan dengan lamanya hujan dapat dilihat dalam bentuk grafik Intesitas – Waktu (*Intensity-Duration Curve*) pada Gambar 5.



**Gambar 5. Kurva Intensitas Hujan untuk Berbagai Periode Ulang**

Periode ulang untuk debit rencana saluran berdasarkan besar kotanya kota dimana Kota Bukittinggi dengan jumlah penduduk 107805 jiwa pada tahun 2009 termasuk kategori kota kecil. Maka untuk sistem drainase primernya diambil periode ulang 5 tahun dengan mempertimbangkan tingkat resiko.

#### Debit limpasan (Q)

Debit limpasan drainase dengan periode ulang 5 tahun dengan menggunakan metoda rasional untuk masing-masing daerah tangkapan aliran dengan kondisi tata guna lahan eksisting dapat dilihat pada Tabel 4. di bawah ini.

**Tabel 4. Debit Limpasan Drainase Kota Bukittinggi tahun 2010**

Nama Daerah tangkapan aliran	Intensitas Hujan (I), mm/jam	Koefisien Aliran permukaan, C	Luas DAS, Ha	Q, m <sup>3</sup> /s
Batang Agam	18.14	0.50	753.89	18.93
Batang Tambuo	18.14	0.48	707.42	16.94
Sapiran	18.14	0.53	109.71	2.94
Tengah Jua	18.14	0.51	98.51	2.52
Anak Air	18.14	0.49	276.73	6.90
Batang Sianok	18.14	0.39	577.64	11.40

Sumber : hasil perhitungan

Bila dihitung debit limpasan keseluruhan di Kota Bukittinggi dengan nilai C rata-rata adalah 0.47 maka debit limpasan yang terjadi adalah 46 m<sup>3</sup>/s. Untuk tata guna lahan rencana tahun 2030 sesuai dengan RTRW Kota Bukittinggi maka nilai debit limpasan drainasenya dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini.

**Tabel 5. Debit Limpasan Drainase Kota Bukittinggi tahun 2030**

Nama Daerah tangkapan aliran	Intensitas Hujan (I), mm/jam	Koefisien Aliran permukaan, C	Luas DAS, Ha	Q, m <sup>3</sup> /s
Batang Agam	18.14	0.51	753.89	19.20
Batang Tambuo	18.14	0.53	707.42	19.01
Sapiran	18.14	0.57	109.71	3.16
Tengah Jua	18.14	0.54	98.51	2.66
Anak Air	18.14	0.51	276.73	7.11
Batang Sianok	18.14	0.42	577.64	12.16

Sumber : hasil perhitungan

Debit limpasan keseluruhan di Kota Bukittinggi untuk tahun 2030 dengan nilai C rata-rata adalah 0.50 maka debit limpasan yang terjadi adalah 48.81 m<sup>3</sup>/s. Perbandingan debit limpasan drainase tahun 2010 dengan tahun 2030 dapat dilihat pada Tabel 6. berikut.

**Tabel 6. Persentase Perubahan Debit Limpasan Drainase Kota Bukittinggi tahun 2010 dan tahun 2030**

Nama Daerah tangkapan aliran	Q <sub>2010</sub> , m <sup>3</sup> /s	Q <sub>2030</sub> , m <sup>3</sup> /s	Persentase Perubahan, %
Batang Agam	18.93	19.20	1.40%
Batang Tambuo	16.94	19.01	12.21%
Sapiran	2.94	3.16	7.28%
Tengah Jua	2.52	2.66	5.30%
Anak Air	6.90	7.11	3.08%
Batang Sianok	11.40	12.16	6.69%

Sumber : hasil perhitungan

Dari tabel di atas dapat dilihat daerah tangkapan aliran yang akan mengalami penambahan debit terbesar dengan prosentase 12.21% adalah daerah tangkapan aliran Batang Tambuo. Hal ini disebabkan perubahan tata guna lahan pada daerah tangkapan aliran ini mengakibatkan meningkatnya koefisien limpasan (C) dari 0,48 menjadi 0,53.

Dengan menghitung kapasitas saluran drainase primer yang ada di Kota Bukittinggi menggunakan persamaan manning maka dapat dibandingkan dengan debit puncak yang telah dihitung sebelumnya sehingga dapat diketahui apakah penyebab adanya daerah genangan banjir di Kota Bukittinggi karena keterbatasan kapasitas saluran drainase. Pada Tabel 7 di bawah ini dapat dilihat perbandingan kapasitas saluran dengan debit puncak banjir di Kota Bukittinggi.

**Tabel 7. Perbandingan debit saluran eksisting dan debit limpasan**

Nama Daerah tangkapan aliran	Q <sub>2010</sub> , m <sup>3</sup> /s	Q <sub>2030</sub> , m <sup>3</sup> /s	Qsal, m <sup>3</sup> /s
Batang Agam	18.93	19.20	22.44
Batang Tambuo	16.94	19.01	25.38
Sapiran	2.94	3.16	8.74
Tengah Jua	2.52	2.66	8.75
Anak Air	6.90	7.11	9.89
Batang Sianok	11.40	12.16	25.88

Sumber : hasil perhitungan

Berdasarkan Tabel 7 di atas dapat dilihat bahwa sampai tahun 2030 Q limpasan lebih kecil dari Q saluran yang ada. Jadi pada umumnya dimensi saluran eksisting masih mampu menampung debit drainase. Namun perhitungan debit di atas masih merupakan akibat dari curah hujan setempat, belum memperhitungkan debit yang diberikan oleh hulu Kota Bukittinggi.

### **Analisa Penyebab Terjadinya Banjir Di Kota Bukittinggi**

Masih adanya permasalahan daerah genangan akibat limpasan drainase di Kota Bukittinggi, diperlukan pengkajian penyebab terjadinya genangan tersebut. Dari perhitungan kapasitas saluran drainase eksisting, diketahui bahwa saluran drainase di Kota Bukittinggi masih mampu menampung debit limpasan yang terjadi akibat curah hujan setempat. Untuk itu perlu dikaji penyebab genangan banjir dari kondisi topografi, geologi wilayah studi dan debit untuk daerah hulu Kota Bukittinggi ( $Q_0$ ) yang mengalir ke Bukittinggi.

#### **A. Penyebab banjir dari Kondisi Topografi dan Geologi**

Untuk penyebab banjir dari kondisi topografi dan geologi, penulis mengkajinya dengan *overlay* peta daerah genangan banjir, peta geologi permukaan, peta kelerengan lahan dan peta tata guna lahan dengan menggunakan *software ArcGIS*. Dari *overlay* peta tersebut nantinya dapat diperkirakan penyebab banjir di daerah-daerah yang telah dipetakan tersebut.

Dari hasil pengamatan di lapangan dan *overlay* peta mengenai daerah genangan banjir di Kota Bukittinggi, maka permasalahan drainase di Kota Bukittinggi adalah sebagai berikut :

##### **a. Masalah Teknis**

- 1) Dimensi saluran yang tidak mencukupi untuk kejadian hujan tertentu sehingga air saluran meluap;
- 2) Saluran yang sisinya belum dilining yang ditumbuhi oleh tumbuhan mempengaruhi aliran sungai sehingga memperkecil kapasitas sungai;

##### **b. Masalah Pengelolaan**

- 1) Sampah dan endapan lumpur pada saluran mengakibatkan air tidak dapat teralirkan dengan baik;

##### **c. Masalah Sosial**

- 1) Perilaku masyarakat dimana pada saat membangun rumah atau gedung melakukan perubahan pada drainase eksisting di arealnya yaitu dengan meninggikan, memperlebar dan membeton sehingga merubah perilaku aliran drainase eksisting;
- 2) Kurangnya kesadaran masyarakat untuk membersihkan endapan material dan sampah pada drainase serta tidak membuang sampah kedalam saluran drainase di lingkungannya;
- 3) Daerah drainase terbuka pada jalan-jalan utama sering didirikan bangunan tempat usaha (kedai) yang dapat mengganggu pemeliharaan drainase.

##### **d. Masalah Alamiah**

- 1) Jenis tanah pada 12 titik daerah genangan merupakan lempunglanauan dan lempung dengan kapasitas infiltrasi untuk lanau lempungan 0,5 – 2,5 mm/jam dan lempung <0,5 mm/jam. Dengan kemampuan menyerap air yang sangat lambat, curah hujan yang cukup rendah akan menimbulkan aliran permukaan
- 2) kontur relatif landai sehingga kecepatan aliran rendah yang menimbulkan endapan material dan genangan;
- 3) Tabek Tuhua merupakan daerah tegalan/kebun, saat ini berkembang dengan pesat menjadi permukiman, hal ini nantinya menjadi potensi penyebab genangan air oleh karena perkembangan pemanfaatan lahan yang tidak diimbangi dengan pengaturan sistem drainase di daerah tersebut.

## B. Penyebab Banjir dari Debit Limpasan Daerah Hulu

Untuk menghitung Debit Limpasan air hujan dari sebelah selatan Bukittinggi (hulu dari Batang Agam) menggunakan Metode Weduwen. Persamaan yang dipakai pada Metode Weduwen (KP -01 Irigasi, 1987) adalah sebagai berikut :

$$Q_n = \alpha \beta q_n A$$

$$\alpha = 1 - \frac{4.1}{\beta q + 7}$$

$$\beta = \frac{120 + \frac{t+1}{t+9} A}{R_n \cdot 67.65}$$

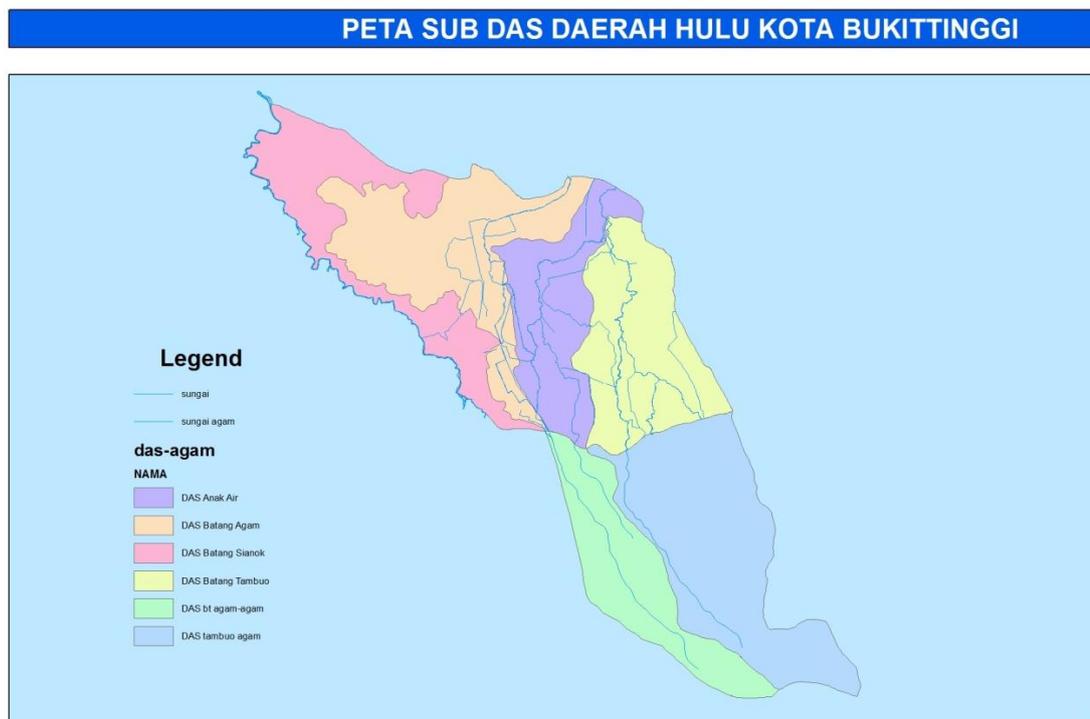
$$q_n = \frac{240 t + 1.45}{R_n}$$

$$t = 0.25 L Q^{-0.125} I^{-0.25}$$

Dimana :

- $Q_n$  = debit banjir (m<sup>3</sup>/s)
- $R_n$  = Curah hujan harian maksimum (mm/hari)
- $\alpha$  = koefisien limpasan air hujan
- $\beta$  = koefisien pengurangan daerah untuk curah hujan daerah aliran sungai
- $q$  = curah hujan (m<sup>3</sup>/s.km<sup>2</sup>)
- $t$  = lamanya curah hujan (jam)
- $L$  = panjang sungai (km)
- $I$  = gradient (Melchior) sungai atau medan
- $A$  = luas daerah aliran (km<sup>2</sup>) sampai 100 km<sup>2</sup>

Gambar 6 di bawah memperlihatkan Sub Das Batang Agam di Kabupaten Agam yang mengalir ke Kota Bukittinggi.



**Gambar 6. Peta Sub Das Daerah Hulu Bukittinggi**

Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa ada 2 sub das di sebelah selatan Kota Bukittinggi yang mengalir ke Kota Bukittinggi yaitu sub das Batang Agam-Agam dan sub Das Batang Tambuo-Agam.

### **Sub Das Batang Agam-Agam**

Perhitungan debit limpasan untuk hulu Kota Bukittinggi dengan sub das Batang Tambuo-Agam adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} L &= 4,24 \text{ Km} \\ I &= 0.007 \\ A &= 8.80 \text{ Km}^2 \\ R_n &= 76.64 \text{ mm (diambil dari curah hujan rencana periode ulang 5 tahun).} \end{aligned}$$

Dengan cara coba-coba (iterasi) seperti dapat ditentukan nilai  $Q$  nya dengan metode Weduwen yaitu sebesar  $15.57 \text{ m}^3/\text{s}$ . Sementara untuk debit limpasan Sub das Batang Agam di Kota Bukittinggi adalah  $18.93 \text{ m}^3/\text{s}$  dengan kapasitas saluran  $22.44 \text{ m}^3/\text{s}$  (lihat Tabel 7). Bila terjadi debit puncak dalam waktu yang bersamaan maka kapasitas saluran drainase di Kota Bukittinggi tidak akan mampu menampung debit tersebut. Untuk mengatasi peningkatan limpasan permukaan yang terlalu besar dapat dikendalikan dengan cara dengan normalisasi sungai dan pengaturan pola tata ruang, yaitu tidak menghilangkan kawasan terbuka hijau (sawah, tegalan, lapangan, jalur hijau).

### **Sub Das Batang Tambuo-Agam**

Perhitungan debit limpasan untuk hulu Kota Bukittinggi dengan sub das Batang Tambuo-Agam adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} L &= 4,24 \text{ Km} \\ I &= 0.007 \\ A &= 8.80 \text{ Km}^2 \\ R_n &= 76.64 \text{ mm (diambil dari curah hujan rencana periode ulang 5 tahun).} \end{aligned}$$

Dengan cara coba-coba (iterasi) seperti dapat ditentukan nilai  $Q$  nya dengan metode Weduwen yaitu sebesar  $31.64 \text{ m}^3/\text{s}$ . Sementara untuk debit limpasan Sub das Batang Tambuo di Kota Bukittinggi adalah  $16.94 \text{ m}^3/\text{s}$  dengan kapasitas saluran  $25.38 \text{ m}^3/\text{s}$  (lihat Tabel 5.7). Sama seperti halnya di sub Das Batang Agam, di sub Das Batang Tambuo pun bila terjadi debit puncak dalam waktu yang bersamaan maka kapasitas saluran drainase di Kota Bukittinggi tidak akan mampu menampung debit tersebut. Dengan normalisasi sungai dan pengaturan pola tata ruang, yaitu tidak menghilangkan kawasan terbuka hijau (sawah, tegalan, lapangan, jalur hijau) akan mengendalikan peningkatan limpasan permukaan yang terlalu besar.

## **Upaya Penanggulangan Limpasan Drainase**

### **A. Normalisasi Saluran**

normalisasi sungai merupakan upaya yang harus segera dilaksanakan mengingat adanya debit banjir daerah hulu (banjir kiriman) dari daerah hulu. Dengan beberapa skenario besarnya debit "banjir kiriman" maka dapat dihitung kapasitas saluran yang diperlukan.

#### **1. Skenario 1, bila debit puncak hulu 100% mengalir ke Bukittinggi**

Dengan asumsi bila saluran drainase di daerah hulu tidak berfungsi dengan baik dan seluruh debit limpasan tidak tertahan di daerah hulu. Pada Tabel 8 berikut dapat dilihat perhitungan debit limpasan yang terjadi dan upaya normalisasi saluran.

**Tabel 8. Normalisasi Saluran untuk Skenario I**

Nama Sub Das	Q Daerah Hulu, $Q_0$ , $m^3/s$	Q Di Bukittinggi, $Q$ , $m^3/s$	Q total	Q Saluran Di Bukittinggi, $m^3/s$	Upaya Menanggulangi dengan normalisasi $n = 0,025$			
					h	b	v	Q
Batang Agam	15,57	18,93	34,50	22,44	3,00	7,80	1,48	34,65
Batang Tambuo	31,64	16,94	48,50	25,09	3,00	8,50	1,42	49,00

Dari perhitungan di atas dapat dilihat bahwa Q limpasan yang terjadi lebih besar dari Q saluran. Untuk mengatasi kelebihan Q limpasan ini perlu dilakukan normalisasi sungai. Bila saluran dipasang batu dan diplester dimana  $n = 0,025$  maka :

- a. Sungai Batang Agam h awal = 1,1 m menjadi 3,0 m, b awal = 6,0 m menjadi 7,80 m
- b. Sungai Batang Tambuo h awal = 1,1 m menjadi 3,0 m, b awal = 7,0 m menjadi 8,5 m

**2. Skenario II, bila debit puncak hulu 75% mengalir ke Bukittinggi**

Dengan asumsi tidak 25% debit limpasan tertahan di daerah hulu seperti di kolam, sawah, kebun campuran dll. Pada Tabel 9 berikut dapat dilihat perhitungan debit limpasan yang terjadi dan upaya normalisasi saluran.

**Tabel 9. Normalisasi Saluran untuk Skenario II**

Nama Sub Das	Q Daerah Hulu, $Q_0$ , $m^3/s$	Q Di Bukittinggi, $Q$ , $m^3/s$	Q total	Q Saluran Di Bukittinggi, $m^3/s$	Upaya Menanggulangi Banjir dengan normalisasi $n = 0,025$			
					h	b	v	Q
Batang Agam	11,68	18,93	30,61	22,44	3,00	7,00	1,46	30,72
Batang Tambuo	23,73	16,94	40,67	25,09	3,00	7,00	1,38	41,29

Dari perhitungan di atas dapat dilihat bahwa Q limpasan yang terjadi lebih besar dari Q saluran. Untuk mengatasi kelebihan Q limpasan ini perlu dilakukan normalisasi sungai. Bila saluran dipasang batu dan diplester dimana  $n = 0,025$  maka :

- a. Sungai Batang Agam h awal = 1,1 m menjadi 3,0 m, b awal = 6,0 m menjadi 7,0m
- b. Sungai Batang Tambuo h awal = 1,1 m menjadi 3,0 m, dengan lebar saluran tetap

**3. Skenario III, bila debit puncak hulu 50% mengalir ke Bukittinggi**

Dengan asumsi tidak 50% debit limpasan tertahan di daerah hulu seperti di kolam, sawah, kebun campuran, dll. Pada Tabel 10 berikut dapat dilihat perhitungan debit limpasan yang terjadi dan upaya normalisasi saluran.

**Tabel 10. Normalisasi Saluran untuk Skenario I**

Nama Sub Das	Q Daerah Hulu , Q <sub>0</sub> , m <sup>3</sup> /s	Q Di Bukittinggi, Q, m <sup>3</sup> /s	Q total	Q Saluran Di Bukittinggi, m <sup>3</sup> /s	Upaya Menanggulangi dengan normalisasi n = 0,025			
					h	b	v	Q
Batang Agam	15,57	7,79	26,72	22,44	3,00	6,00	1,49	26,80
Batang Tambuo	31,64	15,82	32,76	25,09	3,00	7,00	1,45	36,82

Dari perhitungan di atas dapat dilihat bahwa Q limpasan yang terjadi lebih besar dari Q saluran. Untuk mengatasi kelebihan Q limpasan ini perlu dilakukan normalisasi sungai. Untuk mengatasi kelebihan Q limpasan ini perlu dilakukan normalisasi sungai. Bila saluran dipasang batu dan diplester dimana  $n = 0,025$ , maka :

- a. Sungai Batang Agam h awal = 1,1 m menjadi 3,0 m, dengan lebar tetap
- b. Sungai Batang Tambuo h awal = 1,1 m menjadi 2,4 m, dengan lebar saluran tetap

Dari ketiga skenario di atas skenario terpilih adalah skenario III yaitu 50% debit limpasan di daerah hulu menjadi Q<sub>0</sub> di Kota Bukittinggi dan menambah debit limpasan yang terjadi di Kota Bukittinggi. Dipilihnya skenario III ini karena :

1. Periode ulang yang dipakai dalam perhitungan ini merupakan periode ulang 5 tahun yang merupakan periode curah hujan maksimum untuk daerah dengan jumlah penduduk < 200000 jiwa (tabel 5.14).
2. Mengingat masih adanya sawah, kebun campuran dan kolam di daerah hulu, maka masih adanya limpasan permukaan tersebut yang tertahan pada areal-areal tersebut.
3. Penanganan limpasan dengan normalisasi dengan mempertahankan lebar saluran sehingga menghindari timbulnya masalah sosial yaitu masalah pembebasan lahan.

#### **B. Konservasi Air sebagai Upaya Penanggulangan Limpasan Drainase**

Menurut metoda PU bila permeabilitas tanah  $\leq 2$  cm/jam maka penyimpanan air hujan yang dapat dilakukan untuk mengurangi aliran permukaan salah satunya dengan pembuatan kolam tampungan. Kota Bukittinggi jenis tanahnya lempung dengan berbagai campuran yang permeabilitas tanahnya  $\leq 2$  cm/jam maka kolam tampungan dapat diterapkan di Kota Bukittinggi dengan cara 10% dari luas pemukiman dan perkantoran yang sesuai RTRW dijadikan kolam tampungan. Pengurangan koefisien limpasan masing-masing DAS berkisar antara 1.09% sampai 7.42%, seperti terlihat pada Tabel 11 berikut. Untuk seluruh Kota Bukittinggi nilai C dengan adanya upaya konservasi menjadi 0.48 sementara nilai C yang sesuai RTRW adalah 0.50.

**Tabel 11. Perbandingan Nilai C Dengan Tata Guna Lahan Sesuai RTRW 2030 Dan Tata Guna Lahan Dengan Adanya Upaya Konservasi**

Nama Daerah tangkapan aliran	sesuai RTRW	Upaya Konservasi	% perubahan
Batang Agam	0.51	0.50	-1.09
Batang Tambuo	0.53	0.49	-7.42
Batang Sianok	0.42	0.41	-0.72
Sapiran	0.57	0.54	-5.37
Tengah Jua	0.54	0.50	-5.80
Anak Air	0.51	0.48	-5.14

Sumber : Hasil Perhitungan

Keberhasilan suatu pembangunan ditentukan dengan pentahapan-pentahapan yang telah terencana. Demikian juga halnya dalam mengatasi permasalahan drainase di Kota Bukittinggi, perlu adanya perencanaan pentahapan langkah-langkah yang harus dilakukan secara runut, berkesinambungan dan keterkaitan satu sama lain. Kekurangan-kekurangan dalam pengelolaan drainase di Kota Bukittinggi nampaknya sudah sangat disadari, hal ini dapat dilihat dari rencana pengembangan prasarana drainase yang disusun. Agar upaya penanggulangan masalah drainase bersifat komprehensif dan terintegrasi maka perlu adanya pentahapan kegiatan yang dapat dilihat pada Tabel 12 di bawah ini.

**Tabel 12 Pentahapan Upaya Penanggulangan Masalah Drainase**

NO.	KEGIATAN	Jadwal Pelaksanaan							
		Tahap I			Tahap II				
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1	Normalisasi dan Rehabilitasi Saluran Batang Tambuo								
2	Normalisasi dan Rehabilitasi Batang Agam								
3	Koordinasi dengan Pemda Kab. Agam dan Pemprop. Sumatera Barat untuk mengatasi debit limpasan dari Selatan Bukittinggi								
4	Pembangunan Saluran Drainase Dalam Kota								
5	Pemeliharaan Rutin Drainase Dalam Kota								
6	Peningkatan Drainase dalam kota								
7	Pengadaan tanah untuk kolam tampungan								
8	Pembangunan Kolam tampungan								
9	Survei, identifikasi dan pemodelan wilayah genangan di Kota Bukittinggi								
10	Inventarisasi jaringan dan kondisi drainase Kota Bukittinggi								
11	Penyusunan rinci zona jaringan drainase lingkungan yang akan dipelihara oleh masyarakat								
12	Sosialisasi mengenai pemeliharaan drainase lingkungan secara mandiri oleh masyarakat								

## Kesimpulan

Dari hasil kajian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Tata guna lahan mempunyai pengaruh terhadap besarnya limpasan permukaan, yang dapat diketahui dari besarnya nilai koefisien limpasan. Rencana pengembangan penggunaan lahan Kota Bukittinggi pada tahun 2030 mengakibatkan peningkatan nilai koefisien limpasan (C) dibandingkan dengan penggunaan lahan pada tahun 2010. Koefisien limpasan (C) untuk Kota Bukittinggi dengan luas daerah 2523,90 Ha pada tahun 2010 adalah 0.47 meningkat menjadi 0.50 pada tahun 2030.
2. Peningkatan koefisien limpasan akibat perubahan tata guna lahan berbanding lurus dengan peningkatan debit limpasan yang terjadi di Kota Bukittinggi. Debit limpasan pada tahun 2010 untuk periode ulang 5 tahun adalah  $46 \text{ m}^3/\text{s}$  dan meningkat menjadi  $48.81 \text{ m}^3/\text{s}$  pada tahun 2030. Intensitas hujan yang digunakan dalam perhitungan ini adalah sama sampai tahun 2030 dan belum memperhitungkan perubahan iklim global sehingga debit limpasan pada tahun 2030 akan lebih besar dari perhitungan di atas bila perubahan iklim global mengalami peningkatan.
3. Genangan banjir yang tersebar di 12 (dua belas) titik di Kota Bukittinggi akibat melimpasnya drainase di daerah tersebut disebabkan oleh beberapa hal, yaitu :
  - a. Sampah dan endapan lumpur pada saluran mengakibatkan air tidak dapat teralirkan dengan baik;
  - b. Daerah drainase terbuka pada jalan-jalan utama sering didirikan bangunan tempat usaha (kedai) yang dapat mengganggu pemeliharaan drainase,
  - c. Jenis tanah pada 12 (dua belas) titik daerah genangan merupakan lempung lanauan dan lempung dengan kapasitas infiltrasi untuk lanau lempungan  $0,5 - 2,5 \text{ mm/jam}$  dan lempung  $<0,5 \text{ mm/jam}$ . Dengan kemampuan menyerap air yang sangat lambat, curah hujan yang cukup rendah akan menimbulkan aliran permukaan ditambah dengan kontur relatif landai sehingga kecepatan aliran rendah yang menimbulkan endapan material dan genangan;
  - d. Adanya debit limpasan dari daerah hulu ( $Q_0$ ) yaitu Sub Das Batang Agam ( $Q_0 = 15,57 \text{ m}^3/\text{s}$ ) dan Sub Das Batang Tambuo ( $Q_0 = 31,64 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ditambah dengan debit limpasan yang terjadi di Bukittinggi mengakibatkan tidak mencukupinya kapasitas drainase.
4. Adanya debit limpasan dari daerah hulu mengakibatkan kapasitas saluran drainase eksisting di Bukittinggi tidak mampu menampung beban limpasan, maka perlu segera dilakukan normalisasi dengan cara memperbaiki saluran dengan pasangan batu plesteran dan tetap mempertahankan dimensi yang ada untuk menghindari konflik sosial.
5. Upaya konservasi sebagai salah satu cara untuk mempertahankan debit limpasan tetap di masa yang akan datang adalah dengan pembuatan kolam tampungan di tegalan/sawah, permukiman dan perkantoran. Untuk pola rencana ruang tahun 2030 sesuai RTRW Kota Bukittinggi, dengan menyediakan 10% dari luas permukiman dan perkantoran untuk dijadikan kolam tampungan maka akan mengurangi nilai C menjadi 0,48 dimana untuk tahun 2010 nilai C adalah 0,47. Kenaikan nilai C yang tidak signifikan dalam waktu 20 tahun akan mengurangi debit limpasan drainase sehingga sampai tahun 2030 kapasitas saluran di Bukittinggi yang dinormalisasi masih mampu menampung debit yang ada.

## Saran

Berdasarkan kesimpulan hasil kajian di atas maka beberapa hal yang dapat direkomendasikan adalah:

1. Kajian perubahan tata guna lahan, koefisien limpasan, debit limpasan dan debit rencana dalam penelitian ini belum memperhitungkan perubahan iklim global yang terjadi dan perubahan intensitas hujan 20 tahun yang akan datang karena data curah hujan yang dipakai adalah data hujan 10 tahunan. Untuk penelitian berikutnya untuk

memperhitungkan perubahan iklim global dan data curah hujan yang dipakai 100 tahunan sehingga intensitas hujan tetap untuk debit rencana 20 tahun yang akan datang.

2. Perlu adanya koordinasi dan sinkronisasi antara Pemerintahan Daerah Kota Bukittinggi dan Pemerintahan Daerah Kabupaten Agam agar di masa yang akan datang tidak terjadi peningkatan debit limpasan daerah hulu dengan tetap mempertahankan tata guna lahan daerah hulu Batang Agam dan Batang Tambuo di Kabupaten Agam sama seperti saat ini.
3. Perlunya pembuatan dan sosialisasi Peraturan Daerah Kota Bukittinggi tentang drainase perkotaan, yaitu:
  - a. Larangan untuk tidak membuang sampah ke badan air dan saluran yang berfungsi sebagai sistem drainase kota.
  - b. Larangan untuk tidak menggunakan bantaran sungai untuk apapun kegiatan atau usaha.
  - c. Larangan untuk menutup saluran drainase primer untuk alasan apapun apalagi di atasnya didirikan rumah, toko, warung, jalan dan fasilitas lainnya. Karena akan sangat menyulitkan untuk pengoperasian, perbaikan dan perawatan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1987. *Standar Perencanaan Irigasi : Kriteria Perencanaan Bagian Jaringan Irigasi KP-01*, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumberdaya Air, Pemerintah Republik Indonesia
- Anonim, 2004. *SNI 03-2415-1991 Rev. 2004 : Tata Cara Perhitungan Debit Banjir*, Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim, 1994. *SNI 03-3424-1994 : Tata Cara Perencanaan Drainase Permukaan Jalan*, Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim, 2010. *Laporan Akhir : Penyusunan Masterplan Drainase Perkotaan Kota Bukittinggi*, Dinas Pekerjaan Umum Kota Bukittinggi
- Anonim, 2010. *Laporan Akhir: Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Bukittinggi Tahun 2010-2030*. Pemerintah Kota Bukittinggi.
- Arsyad, Sintanala, 2000, *Konservasi Tanah dan Air*, UPT Produksi Media Informasi Lembaga Sumberdaya Informasi IPB.
- Aulia, Yoshe, 2006, *Analisis Besaran Koefisien Pengaliran (C) pada Metode Perhitungan Debit Direct Run Off sebagai Akibat Perubahan Tata Guna Lahan di Das Batang Kuranji Hulu Propinsi Sumatera Barat*, Tesis : Program Magister Profesional Sumberdaya Air ITB, Bandung
- Chow, Ven Te, 1959, *Hidrolika Saluran Terbuka*, Erlangga, Jakarta.
- Chow, V. T, dkk. 1988. *Applied Hydrology*. Mc Graw - Hill International
- Kodoatie, R. J dan Sugiyanto. 2002. *Banjir (Beberapa Penyebab dan Metode Pengendaliannya dalam Perspektif Lingkungan)*. Pustaka Pelajar, Yogyakarta
- Maryono, A & Santoso, Adi N., 2006, *Metode Memanen dan Memanfaatkan Air Hujan untuk Penyediaan Air Bersih, Mencegah Banjir dan Kekeringan*. Kantor Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta
- Muttaqin, Adi Yusuf, 2006, *Kinerja Sistem Drainase yang Berkelanjutan Berbasis Partisipasi Masyarakat*, Tesis : Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro, Semarang
- Soemarto, CD. 1987. *Hidrologi Teknik*, Usaha Nasional, Surabaya.
- Soewarno, 1995, *Hidrologi : Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid 1*, Nova, Bandung
- Sofyan, Hendi Susilo, 2011, *Studi Penanganan Genangan/Limpasan Saluran Drainase Jl. Ir. H.Juanda (Studi Kasus Ruas Terminal Dago-Simpang)*, Tesis : Program Magister Profesional Sumberdaya Air ITB, Bandung
- Sri Harto Br., 1993, *Analisis Hidrologi*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Sunjoto. (1987), *Sistem Drainase Air Hujan yang Berwawasan Lingkungan*, Makalah Seminar Pengkajian Sistem Hidrologi dan Hidrolika, PAU Ilmu Teknik Universitas Gajah Mada, Yogyakarta
- Suripin, Dr. Ir. M.Eng., 2004, *Pelestarian Sumberdaya Tanah dan Air*, Andi, Yogyakarta
- Suripin, Dr. Ir. M.Eng., 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*, Andi, Yogyakarta.