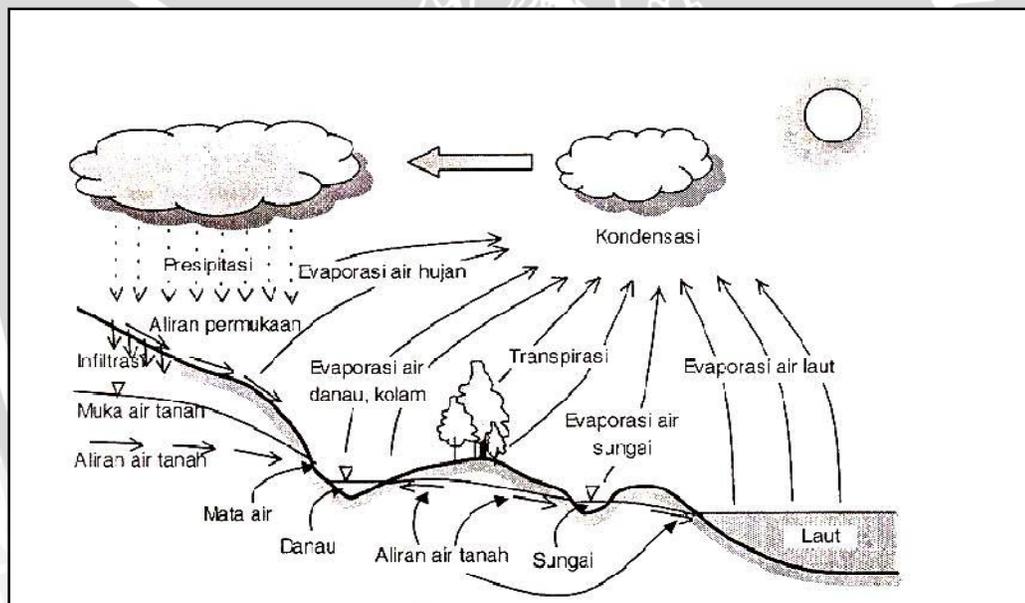


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Siklus Hidrologi

Siklus Hidrologi adalah sirkulasi air yang tidak pernah berhenti dari atmosfer ke bumi dan kembali ke atmosfer melalui kondensasi, presipitasi, evaporasi dan transpirasi. Pemanasan air samudera oleh sinar matahari merupakan kunci proses siklus hidrologi tersebut dapat berjalan secara kontinu. Air berevaporasi, kemudian jatuh sebagai presipitasi dalam bentuk hujan, salju, hujan batu, hujan es dan salju (*sleet*), hujan gerimis atau kabut. Pada perjalanan menuju bumi beberapa presipitasi dapat berevaporasi kembali ke atas atau langsung jatuh yang kemudian diintersepsi oleh tanaman sebelum mencapai tanah. Setelah mencapai tanah, siklus hidrologi terus bergerak secara kontinu dalam tiga cara yang berbeda seperti pada Gambar.2.1.



Gambar 2.1 Siklus Hidrologi
Sumber : Suripin (2004: 20)

Gambar di atas menjelaskan sebagai berikut :

- ❖ Evaporasi / transpirasi; Air yang ada di laut, di daratan, di sungai, di tanaman, dan sebagainya kemudian akan menguap ke angkasa (*atmosfer*) dan kemudian akan menjadi awan. Pada keadaan jenuh uap air (awan) itu akan menjadi titik-titik air yang selanjutnya akan turun (*precipitation*) dalam bentuk hujan, salju, dan es.
- ❖ Infiltrasi/ perkolasi ke dalam tanah; Air bergerak ke dalam tanah melalui celah-celah dan pori-pori tanah dan batuan menuju muka air tanah. Air dapat bergerak

akibat aksi kapiler atau air dapat bergerak secara vertikal atau horizontal di bawah permukaan tanah hingga air tersebut memasuki kembali sistem air permukaan.

- ❖ Air Permukaan; Air bergerak di atas permukaan tanah dekat dengan aliran utama dan danau, makin landai lahan dan makin sedikit pori - pori tanah, maka aliran permukaan semakin besar. Aliran permukaan tanah dapat dilihat biasanya pada daerah urban. Sungai - sungai bergabung satu sama lain dan membentuk sungai utama yang membawa seluruh air permukaan disekitar daerah aliran sungai menuju laut. Air permukaan, baik yang mengalir maupun yang tergenang (danau, waduk, rawa), dan sebagian air bawah permukaan akan terkumpul dan mengalir membentuk sungai dan berakhir ke laut. Proses perjalanan air di daratan itu terjadi dalam komponen - komponen siklus hidrologi yang membentuk sistem Daerah Aliran Sungai (DAS).

2.2. Limpasan Permukaan

Limpasan permukaan yang berlebih merupakan ancaman bahaya banjir sehingga dalam penataan kawasan, identifikasi dari parameter - parameter yang mempengaruhi limpasan permukaan harus dilakukan. Limpasan permukaan terjadi ketika jumlah curah hujan melampaui laju infiltrasi, setelah laju infiltrasi terpenuhi air mulai mengisi cekungan atau depresi pada permukaan tanah. Setelah pengisian selesai maka air akan mengalir dengan bebas dipermukaan tanah.

Faktor - faktor yang mempengaruhi limpasan permukaan bisa dikelompokkan kedalam faktor - faktor yang berhubungan dengan curah hujan dan yang berhubungan dengan karakteristik daerah aliran sungai yaitu lama waktu hujan, intensitas dan penyebaran hujan mempengaruhi laju dan volume limpasan permukaan. Pengaruh DAS terhadap limpasan permukaan adalah melalui bentuk dan ukuran DAS, topografi, geologi dan keadaan tata guna lahan. Semakin besar ukuran DAS maka semakin besar pula limpasan permukaan. Kerapatan drainase juga merupakan faktor yang penting dalam menentukan kecepatan limpasan permukaan. Kerapatan drainase adalah jumlah dari semua saluran air atau sungai (km) dibagi dengan luas DAS (km²). Semakin tinggi kerapatan drainase semakin besar kecepatan limpasan permukaan, untuk curah hujan yang sama.

Bentuk topografi seperti kemiringan lereng, keadaan parit serta bentuk cekungan akan mempengaruhi laju dan volume limpasan permukaan. Pengaruh vegetasi dan cara bercocok tanam terhadap limpasan permukaan dapat diterangkan bahwa vegetasi dapat

menghalangi jalannya air larian dan memperbesar jumlah air yang tertahan diatas permukaan tanah (*surface detention*), dengan demikian menurunkan laju limpasan permukaan (Asdak, 1995: 155).

Ada beberapa faktor yang menentukan dan saling mempengaruhi limpasan permukaan secara bersamaan. Faktor - faktor yang mempengaruhi limpasan permukaan dibagi menjadi dua kelompok, yaitu elemen meteorologi dan elemen sifat fisik daerah pengaliran (Sosrodarsono & Takeda, 1978 : 135).

Elemen meteorologi meliputi jenis presipitasi, intensitas hujan, durasi hujan, dan distribusi hujan dalam daerah pengaliran, sedangkan elemen sifat fisik meliputi tata guna lahan (*land use*), jenis tanah, dan kondisi topografi daerah pengaliran (*catchment*).

2.2.1. Faktor-faktor yang mempengaruhi limpasan permukaan

Aliran pada saluran atau sungai tergantung dari berbagai faktor secara bersamaan. Dalam kaitannya dengan limpasan, faktor yang berpengaruh secara umum dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok, yaitu faktor meteorologi dan karakteristik daerah tangkapan saluran atau daerah aliran sungai (DAS). (Suripin,2004:74)

2.2.1.1. Faktor Meteorologi

Faktor-faktor meteorologi yang berpengaruh pada limpasan terutama adalah karakteristik hujan,yang meliputi :

1) Intensitas Hujan

Pengaruh intensitas hujan terhadap limpasan permukaan sangat tergantung pada laju infiltrasi. Jika intensitas melebihi laju infiltrasi, maka akan terjadi limpasan permukaan sejalan dengan peningkatan intensitas curah hujan. Namun demikian, peningkatan limpasan permukaan tidak selalu sebanding dengan peningkatan intensitas hujan karena adanya penggenangan di permukaan tanah. Intensitas hujan berpengaruh pada debit maupun volume limpasan.

2) Durasi Hujan

Total limpasan dari suatu hujan berkaitan langsung dengan durasi hujan dengan intensitas tertentu. Setiap DAS mempunyai satuan durasi hujan atau lama hujan kritis. Jika hujan yang terjadi lamanya kurang dari lama hujan kritis, maka lamanya limpasan akan sama dan tidak tergantung pada intensitas hujan.

3) Distribusi curah hujan

Laju dan volume limpasan dipengaruhi oleh distribusi dan intensitas hujan di seluruh DAS. Secara umum, laju dan volume limpasan maksimum telah terjadi jika seluruh DAS telah memberi kontribusi aliran. Namun demikian,hujan dengan intensitas

tinggi pada sebagian DAS dapat menghasilkan limpasan yang lebih besar dibandingkan dengan hujan biasa yang meliputi seluruh DAS.

Jika kondisi topografi, tanah, dan lain - lain di seluruh DAS seragam, untuk jumlah hujan yang sama, maka curah hujan yang distribusinya merata menghasilkan debit puncak yang paling minimum. Karakteristik distribusi hujan dinyatakan dalam “koefisien distribusi”, yaitu nisbah antara hujan tertinggi di suatu titik dengan hujan rata - rata DAS.

2.2.1.2. Karakteristik DAS

Karakteristik DAS yang berpengaruh besar pada aliran permukaan meliputi (1) luas dan bentuk DAS, (2) topografi, dan (3) tata guna lahan. (Suripin, 2004:75)

1) Luas dan bentuk DAS

Laju dan volume aliran permukaan makin bertambah besar dengan bertambahnya luas DAS. Tetapi, apabila aliran permukaan tidak dinyatakan sebagai jumlah total dari DAS, melainkan sebagai laju dan volume per satuan luas, besarnya akan berkurang dengan bertambahnya luas DAS. Ini berkaitan dengan waktu yang diperlukan air untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke titik kontrol (waktu konsentrasi) dan juga penyebaran atau intensitas hujan.

Bentuk DAS mempunyai pengaruh pada pola aliran dalam sungai. Pengaruh bentuk DAS terhadap aliran permukaan dapat ditunjukkan dengan memperhatikan hidrograf - hidrograf yang terjadi pada dua buah DAS yang bentuknya berbeda namun mempunyai luas yang sama dan menerima hujan dengan intensitas yang sama.

Bentuk DAS memanjang dan sempit cenderung menghasilkan laju aliran permukaan yang lebih kecil dibandingkan dengan DAS yang berbentuk melebar atau melingkar. Hal ini terjadi karena waktu DAS melebar, sehingga terjadinya konsentrasi air di titik kontrol lebih lambat yang berpengaruh pada laju dan volume aliran permukaan. Faktor bentuk juga dapat berpengaruh pada aliran permukaan apabila hujan terjadi tidak serentak di seluruh DAS, tetapi bergerak dari ujung yang satu ke ujung lainnya, misalnya dari hilir ke hulu DAS. Pada DAS memanjang laju aliran akan lebih kecil karena aliran permukaan akibat hujan di hulu belum memberikan kontribusi pada titik kontrol ketika aliran permukaan dari hujan di hilir telah habis, atau mengecil. Sebaliknya pada DAS melebar, datangnya aliran permukaan dari semua titik di DAS tidak terpaut banyak, artinya air dari hulu sudah tiba sebelum aliran dari hilir mengecil atau habis.

2) Topografi

Tampakan rupa muka bumi atau topografi seperti kemiringan lahan keadaan dan kerapatan parit dan/ atau saluran, dan bentuk - bentuk cekungan lainnya mempunyai pengaruh pada laju dan volume aliran permukaan. DAS dengan kemiringan curam disertai parit/saluran yang rapat akan menghasilkan laju dan volume aliran permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan DAS yang landai dengan parit yang jarang dan adanya cekungan - cekungan. Pengaruh kerapatan parit, yaitu panjang parit per satuan luas DAS, pada aliran permukaan adalah memperpendek waktu konsentrasi, sehingga memperbesar laju aliran permukaan.

3) Tata guna lahan

Pengaruh tata guna lahan pada aliran permukaan dinyatakan dalam koefisien aliran permukaan (C), yaitu bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya aliran permukaan salah satu indikator untuk menentukan kondisi fisik suatu DAS. Nilai C berkisar antara 0 sampai 1. Nilai $C = 0$ menunjukkan bahwa semua air hujan terintersepsi dan terinfiltrasi ke dalam tanah, sebaliknya untuk nilai $C = 1$ menunjukkan bahwa semua air hujan mengalir sebagai aliran permukaan.

2.3. Analisa hidrologi

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

2.3.1. Uji Konsistensi Data

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

Pengecekan kualitas data merupakan keharusan sebelum data hidrologi diproses. Pengecekan dapat dilakukan dengan berbagai cara, misalnya dengan (Soewarno, 1995:24):

1. inspeksi ke lapangan,
2. perbandingan hidrograf,
3. analisis kurva masa ganda.

Umumnya dilakukan dengan analisis kurva masa ganda, dengan menggambarkan besaran hujan kumulatif stasiun yang diuji dengan besaran hujan kumulatif rata - rata hujan dari beberapa stasiun referensi disekitarnya. Ketidakpanggaan data ditunjukkan dengan penyimpangan garisnya dari garis lurus. hal ini masih sering menimbulkan keraguan. Kesulitan yang lain adalah ketidakyakinan akan prosedur itu sendiri, karena dalam satu DAS, suatu stasiun akan berfungsi ganda, sebagai stasiun yang diuji dan stasiun referensi pada pengujian lain. (Sri Harto, 1993:266)

Alat penguji lain adalah menguji ketidakpanggaan data suatu stasiun dengan data dari stasiun itu sendiri, dengan mendeteksi penggeseran nilai rata-rata (mean). Cara ini lebih dapat diterima, diantaranya adalah *Von Neumann Test*, *Rescaled Adjusted Partial Sum (RAPS)*, *Weighted Adjusted Partial Sum*, *Worsley test* dan *Buishand test*. Salah satu cara klasik adalah Von Neumann Ratio dalam persamaan (Harto, 1993:59):

$$N = \sum_{i=1}^{n-1} (Y_i - Y_{i+1})^2 / \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (2-1)$$

Data dikatakan pangga apabila nilai $E(N) = 2$

Buishand (1982) memperkenalkan cara cumulative deviation, yaitu nilai kumulatif penyimpangannya terhadap nilai rata-rata (mean) dengan :

$$S_o^* = 0, S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y})^2, k = 1, \dots, n \quad (2-2)$$

Nilai $S_n^* = 0$. untuk data yang homogin, maka nilai S_k^* berkisar nol. Karena tidak terdapat kesalahan sistematik pada nilai Y_i terhadap nilai \bar{Y} rata-rata. Oleh sebab itu,

S_k^* (harga mutlak) dapat digunakan sebagai indikator terjadinya perubahan atau ketidakpanggaan. Cara lain yang dapat digunakan adalah dengan RAPS (Rescaled Adjusted Partial Sums) buishand 1982

$$S_k^{**} = S_k^* / Dy, \text{ dengan } k=0,1,\dots,n \quad (2-3)$$

$$D_y^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 / n \quad (2-4)$$

$$\text{Nilai statistic Q} \rightarrow Q = \max_{0 \leq k \leq n} |S_k^{**}| \quad (2-5)$$

Nilai statistik R (Range)

$$R = \max_{0 \leq k \leq n} S_k^{**} - \min_{0 \leq k \leq n} S_k^{**} \quad (2-6)$$

Dengan :

S^*_o = simpangan awal

S^*_k = simpangan mutlak

S^{**k} = nilai konsistensi data

n = jumlah data

D_y = simpangan rata-rata

Q = nilai statistik Q untuk $0 \leq k \leq n$

R = nilai statistik (range)

Nilai statistik Q dan R diberikan pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Nilai Q/\sqrt{n} dan R/\sqrt{n}

N	Q/\sqrt{n}			R/\sqrt{n}		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1.05	1.14	1.29	1.21	1.28	1.38
20	1.1	1.22	1.42	1.34	1.43	1.6
30	1.12	1.24	1.46	1.4	1.5	1.7
40	1.13	1.26	1.5	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	1.5	1.62	1.86
	1.22	1.36	1.63	1.62	1.75	2

Sumber: Harto (1993:60)

Cara lain yang dapat digunakan adalah dengan WAPS (*Weighted Adjusted Partial Sums*). Buishand, 1982

$$Z_k^* = [k(n-k)]^{-0,5} S_k^* ; k= 1,2,...,n-1 \quad (2-7)$$

$$Z_k^{**} = Z_k^* / D_y \quad (2-8)$$

$$V = \max_{1 \leq k \leq n-1} |Z_k^{**}| \quad (2-9)$$

i/Statistik ini dapat disajikan dalam persamaan :

$$W = (n - 2)^{0,5} V / (1 - V^2)^{0,5} \tag{2-10}$$

Dengan W adalah nilai Worsley's test :

$$W = \text{maks}_{1 \leq k < n-1} |t_k| \tag{2-11}$$

Dengan t_k adalah nilai 'Student's t' untuk membedakan nilai rata-rata dari k sample k yang pertama dan sample (n-k) terakhir. Pengujian 'V' berarti sama dengan pengujian 'W'.

Pengujian lain dengan cara 'Bayesian'. Uji statistic yang dapat digunakan adalah :

$$U = [1 / \{n(n+1)\}] \sum_{k=1}^{n-1} (S_k^{**})^2 \tag{2-12}$$

$$A = (Z_k^{**})^2 \tag{2-13}$$

Nilai U dan A yang besar menunjukkan kecenderungan penyimpangan dari kepanggaan data. Nilai statistik U dan A disajikan dalam tabel berikut ini. Sebelum pemakaian cara ini sebaiknya dilakukan pengujian sebagai sarana pengujian silang.

Tabel 2.2 Nilai U dan A

N	U			A		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	0.336	0.414	0.575	1.9	2.31	3.14
20	0.343	0.447	0.662	1.93	2.44	3.5
30	0.344	0.444	0.691	1.92	2.42	3.7
40	0.341	0.448	0.693	1.91	2.44	3.66
50	0.342	0.452	0.718	1.92	2.48	3.78
100	0.341	0.457	0.712	1.92	2.48	3.82
	0.347	0.461	0.743	1.93	2.49	3.86

Sumber: Harto (1993:62)

Dalam beberapa pengujian banding, cara-cara yang disebutkan di atas memberikan hasil yang sama dengan cara pertama, selain keuntungan lain dapat menghindarkan kemungkinan ketidakpanggaan data hujan stasiun-stasiun referensi. (Sri Harto, 1993 : 266). Dalam studi ini dilakukan dengan metode RAPS.

2.3.1.1. Pemeriksaan outlier (data di luar ambang batas)

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 (Chow, 1987 : 403, dalam Rhanty, 2004:8) menetapkan dua batas ambang X_L dan X_H sebagai berikut :

$$\begin{aligned} X_H &= \bar{x} - Kn \cdot S \\ X_L &= \bar{x} + Kn \cdot S \end{aligned} \quad (2-14)$$

dengan :

X_H = nilai ambang atas

X_L = nilai ambang bawah

\bar{x} = nilai rata-rata

S = simpangan baku dari logaritma terhadap sampel

Kn = besaran yang tergantung pada jumlah sampel data (pada lampiran tabel outlier)

n = jumlah sampel data

Data yang nilainya di luar X_H dan X_L diklasifikasikan sebagai *outlier*. Berikut tabel nilai Kn pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Nilai Kn untuk Uji *Outlier-Inlier*

Jumlah Data	Kn						
10	2,036	24	2,467	38	2,661	60	2,837
11	2,088	25	2,468	39	2,671	65	2,866
12	2,134	26	2,502	40	2,681	70	2,893
13	2,175	27	2,519	41	2,692	75	2,917
14	2,213	28	2,534	42	2,700	80	2,940
15	2,247	29	2,549	43	2,710	85	2,961
16	2,279	30	2,563	44	2,719	90	2,981
17	2,309	31	2,577	45	2,717	95	3,000
18	2,335	32	2,591	46	2,736	100	3,017
19	2,361	33	2,604	47	2,744	110	3,049
20	2,385	34	2,616	48	2,753	120	3,078
21	2,408	35	2,618	49	2,760	130	3,104
22	2,429	36	2,639	50	2,768	140	3,129
23	2,448	37	2,650	55	2,804		

Sumber : Panduan perencanaan Bendungan Urugan Volume II,1999

2.3.2. Curah hujan rerata wilayah/Hujan Kawasan

Data hujan yang diperoleh oleh suatu alat penakar hujan hanya merupakan hujan yang terjadi pada suatu tempat atau titik dimana alat penakar hujan ditempatkan (*point rainfall*). Kejadian hujan sangat bervariasi pada suatu area, terutama pada area pengamatan yang luas, satu titik pengamatan tidak mencukupi untuk dapat menggambarkan kejadian hujan pada wilayah tertentu. Cara untuk menentukan harga rata - rata curah hujan pada beberapa stasiun penakar hujan dapat dilakukan dengan

beberapa metode. Pemilihan metode mana yang cocok dipergunakan pada suatu DAS dapat ditentukan dengan mempertimbangkan tiga faktor seperti Tabel 2.4.

Tabel. 2.4 Tabel Pemilihan Metode analisis sesuai dengan kondisi DAS

No.	Kondisi DAS	Metode
1	Jaring-Jaring Pos Penakar Hujan	Metode
a	Jumlah pos penakar hujan cukup	Isohyet, Thiesen, atau Rata-rata aljabar
b	Jumlah pos penakar hujan terbatas	Thiesen, atau Rata-rata aljabar
c	Jumlah pos penakar hujan tunggal	Hujan Titik
2	Luas DAS	Metode
a	DAS besar (>5000 km ²)	M. Isohyet
b	DAS sedang (500 s/d 5000 km ²)	M. Thiesen
c	DAS kecil (<500km ²)	M. Rata-rata Aljabar
3	Topografi DAS	Metode
a	Pegunungan	M. Rata-rata Aljabar
b	Dataran	M. Thiesen, M. Rata-rata Aljabar
c	Berbukit dan tidak beraturan	M. Isohyet

Sumber : Suripin (2004:31)

Ada tiga cara yang dapat digunakan dalam menghitung hujan rerata daerah, antara lain :

- Cara rata-rata aljabar

Tinggi rata - rata curah hujan didapatkan dengan mengambil nilai rata-rata hitung (arithmetic mean) pengukuran hujan di pos penakar - penakar hujan di dalam areal tersebut. Jadi dapat dirumuskan :

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n} \tag{2-15}$$

dimana :

d = tinggi curah hujan rerata daerah

$d_1, d_2, d_3 \dots d_n$ = tinggi curah hujan pada pos penakar 1,2,3,...n

n = banyaknya pos penakar

Cara ini akan memberikan hasil yang dapat dipercaya jika pos - pos penakarnya ditempatkan secara merata di areal tersebut, dan hasil penakaran masing - masing pos penakar tidak menyimpang jauh dari nilai rata-rata seluruh pos di seluruh areal (Soemarto,1999:10).

- Metode Thissen

Metode ini dikenal juga sebagai metode rata - rata timbang (*weighted mean*).

Cara ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk

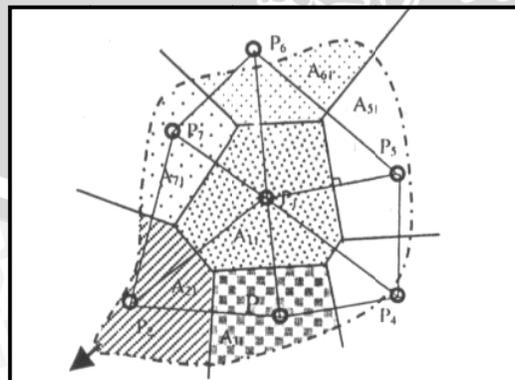
mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Daerah pengaruh dibentuk dengan menggambarkan garis - garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua pos penakar terdekat. Diasumsikan bahwa variasi hujan antara pos yang satu dengan lainnya adalah linier dan bahwa sembarang pos dianggap dapat mewakili kawasan terdekat. Hasil metode Thiessen lebih akurat dibandingkan dengan metode rata - rata aljabar.

Prosedur penerapan metode ini meliputi langkah - langkah sebagai berikut:

- ✓ Lokasi pos penakar hujan diplot pada peta DAS, antar pos penakar dibuat garis lurus penghubung.
- ✓ Tarik garis tegak lurus di tengah - tengah tiap garis penghubung sedemikian rupa, sehingga membentuk poligon Thiessen (Gambar 2.2). Semua titik dalam satu poligon akan mempunyai jarak terdekat dengan pos penakar yang ada di dalamnya dibandingkan dengan jarak terhadap pos lainnya. Selanjutnya, curah hujan pada pos tersebut dianggap representasi hujan pada kawasan dalam poligon yang bersangkutan.
- ✓ Luas areal pada tiap - tiap poligon dapat diukur dengan planimeter dan luas total DAS, A dapat diketahui dengan menjumlahkan semua luasan polygon.
- ✓ Hujan rata-rata DAS dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{P_1A_1 + P_2A_2 + \dots + P_nA_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_iA_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2-16)$$

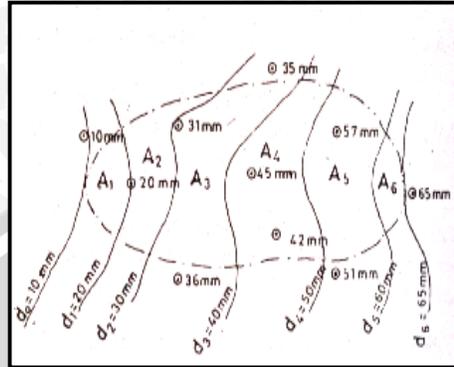
Dimana P_1, P_2, \dots, P_n adalah curah hujan yang tercatat di pos penakar hujan 1, 2, ..., n. A_1, A_2, \dots, A_n adalah luas areal poligon 1, 2, ..., n. n adalah banyaknya pos penakar hujan. (Suripin, 2004:28)



Gambar.2.2 Metode Poligon Thiessen
 Sumber :Suripin (2004: 28)

- Metode Isohyet

Dengan cara ini, kita harus menggambar dua kontur tinggi hujan yang sama (isohyet), seperti terlihat pada gambar sebagai berikut :



Gambar. 2.3 Curah Hujan Rerata Isohyet
Sumber: Soemarto (1999:11)

Kemudian luas bagian di antara isohyet - isohyet yang berdekatan diukur, dan nilai rata - ratanya dihitung sebagai nilai rata - rata timbang nilai kontur, sebagai berikut (Soemarto, 1999:11):

$$d = \frac{\frac{d_0 + d_1}{2} A_1 + \frac{d_1 + d_2}{2} A_2 + \dots + \frac{d_{n-1} + d_n}{2} A_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n}$$

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_{i-1} + d_i}{2} A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_{i-1} + d_i}{2} A_i}{A} \quad (2-17)$$

dimana :

- A = luas areal (Ha)
- d = tinggi hujan rata-rata areal
- d₁, d₂, d₃..d_n = tinggi curah hujan pada isohyet 1,2,.....n
- A₁,A₂,A₃..A_n = luas bagian areal yang dibatasi oleh isohyet-isohyet yang bersangkutan

Ini adalah cara yang paling teliti untuk mendapatkan hujan areal rata-rata, tetapi memerlukan jaringan pos penakar yang relatif lebih padat yang memungkinkan untuk membuat isohyet. Pada waktu menggambar garis - garis isohyet sebaiknya juga memperhatikan pengaruh bukit atau gunung terhadap distribusi hujan (*hujan orografik*).

Dari beberapa cara - cara untuk menghitung curah hujan daerah (*areal rainfall*) telah dikemukakan di atas. Meskipun cara terbaik belum diketahui, namun umumnya

untuk menghitung curah hujan daerah digunakan standar luas daerah sebagai berikut (Sosrodarsono, 1977:51):

1. Daerah dengan luas kurang lebih dari 250 Ha yang mempunyai variasi topografi yang kecil dapat diwakili oleh sebuah alat ukur curah hujan.
2. Untuk daerah antara 250 - 50.000 Ha dengan 2 atau 3 pengamatan, dapat digunakan cara rata-rata.
3. Untuk daerah antara 120.000 - 500.000 Ha yang mempunyai titik-titik pengamatan yang tersebar cukup merata dan di mana curah hujannya tidak terlalu dipengaruhi oleh kondisi topografi, dapat digunakan cara aljabar rata - rata. Jika titik - titik pengamatan itu tidak tersebar maka digunakan cara *Poligon Thiessen*.

Untuk daerah yang lebih besar dari 500.000 Ha, dapat digunakan cara *Isohiet* atau cara potongan antara (*inter-section method*).

2.3.3. Curah Hujan Rancangan

Curah hujan rancangan adalah curah hujan terbesar yang mungkin terjadi pada suatu daerah tertentu pada periode ulang tertentu, yang dipakai sebagai dasar perhitungan dalam perencanaan suatu dimensi bangunan air. Perhitungan curah hujan rancangan didasarkan pada analisis frekuensi, dengan sasaran utama untuk menentukan kala ulang peristiwa hidrologi yang berharga tertentu, yang mencakup juga peristiwa yang diharapkan menyamai atau lebih besar dari reratanya (Subarkah, 1980). Ada beberapa teknik analisis frekuensi yang digunakan dalam pengolahan data hidrologi, namun yang banyak digunakan adalah Log Pearson Tipe III dengan pertimbangan, bahwa metode ini lebih luwes dan dapat dipakai untuk semua macam sebaran data. Tahapan perhitungan untuk mencari curah hujan rancangan Log Pearson tipe III adalah sebagai berikut (Suwarno, 1955:142):

$$P(X) = \frac{1}{(a) \Gamma(b)} \left[\frac{X - C}{a} \right]^{b-1} e^{-\left[\frac{X - C}{a} \right]} \quad (2-18)$$

dengan:

$P(X)$ = peluang dari variat X

X = nilai dari variat X

a, b, c = parameter

Γ = fungsi gamma

Bentuk kumulatif dari distribusi Log-Pearson Tipe III dengan nilai variatnya X apabila digambarkan pada kertas peluang logaritmik (*logarithmic probability paper*) akan merupakan model matematik persamaan garis lurus. Persamaan garis lurusnya adalah:

$$Y = \bar{Y} - K \cdot S \tag{2-19}$$

dengan:

Y = nilai logaritmik dari X

\bar{Y} = nilai rata-rata dari Y

S = standart deviasi dari Y

K = karakteristik dari distribusi Log-Pearson Tipe III

Tahapan untuk menghitung hujan rancangan maksimum dengan metode Log-pearson Tipe III adalah sebagian berikut (Suwarno,1995:142):

- ✓ Hujan harian maksimum diubah dalam bentuk logaritma.
- ✓ Menghitung harga logaritma rata-rata dengan rumus:

$$\overline{\log x} = \frac{\sum_{i=1}^n \log xi}{n} \tag{2-20}$$

- ✓ Menghitung harga simpangan baku dengan rumus :

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log xi - \overline{\log x})^2}{n-1}} \tag{2-21}$$

- ✓ Menghitung harga koefisien asimetri dengan rumus :

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log xi - \overline{\log x})^3}{(n-1)(n-2)(Si)^3} \tag{2-22}$$

dengan:

n = jumlah data

$\overline{\log x}$ = rata - rata hujan maksimum harian tahunan

Xi = data hujan (mm)

- ✓ Menghitung logaritma hujan rancangan dengan kala ulang tertentu dengan rumus :

$$\log xt = \overline{\log x} + (G \times Si) \tag{2-23}$$

dengan:

xt = curah hujan rancangan (mm)

G = koefisien frekuensi

S_i = standar deviasi

- ✓ Menghitung X_T untuk mendapatkan curah hujan rancangan dengan kala ulang tertentu atau dengan membaca grafik pengeplotan X_T dengan peluang pada kertas logaritma. Untuk tabel 2.5. Nilai G untuk Distribusi peluang Log Pearson Tipe III dapat dilihat pada lampiran.

2.3.4. Uji kesesuaian 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.

- **Uji Smirnov-Kolmogorov (simpangan horisontal)**

Uji ini digunakan untuk menguji simpangan secara horizontal, yaitu merupakan selisih simpangan maksimum antara distribusi teoritis dan empiris (Δ_0). Dengan pemeriksaan uji ini akan diketahui :

1. Kebenaran antara hasil pengamatan dengan model distribusi yang diharapkan atau yang diperoleh secara teoritis.
2. Kebenaran hipotesa diterima atau ditolak.

Uji kesesuaian Smirnov-Kolmogorov, sering juga disebut uji kecocokan non parametrik (*non parametric test*), karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Langkah - langkah pengujian Smirnov Kolmogorof adalah sebagai berikut :

- ✓ Mengurutkan data curah hujan dari kecil ke besar atau sebaliknya
- ✓ Menghitung persamaan empiris dengan persamaan Weibull sebagai berikut (Sri Harto, 1993:58)

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

(2-24)

dengan:

P = peluang (%)

m = nomor urut data

n = jumlah data

- ✓ Mencari nilai K dengan persamaan berikut:

$$K = \left(\frac{\log xi - \overline{\log x}}{Si} \right) \tag{2-25}$$

dengan:

K = koefisien frekuensi

Si = simpangan baku

- ✓ Mencari harga Pt melalui Tabel Distribusi Log-Pearson Tipe III
- ✓ Menghitung selisih Sn(x) dan P(x) dengan persamaan berikut:

$$\Delta_{maks} = |Pe(x) - Pt(x)| \tag{2-26}$$

- ✓ Mencari nilai Δ_{Cr} dari tabel Smirnov-Kolmogorov kemudian dibandingkan dengan Δ_{maks} . Jika harga $\Delta_{maks} < \Delta_{Cr}$, maka penyimpangan masih dalam batas ijin, yang berarti distribusi data hujan pengamatan sesuai dengan model distribusi teoritis.

Tabel 2.6 Nilai Kritis (Δ_{Cr}) untuk Uji Smirbov-Kolmogorov

n \ α	0,20	0,10	0,05	0,01
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	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$

Sumber: Shahin (1976:188)

- Uji Chi-Square (Simpang vertikal)

Uji ini digunakan untuk menguji simpangan secara vertikal apakah distribusi pengamatan dapat diterima secara teoritis. Pada penggunaan Uji Smirnov-Kolmogorov, meskipun menggunakan perhitungan matematis namun kesimpulan hanya berdasarkan bagian tertentu (sebuah *variant*) yang mempunyai penyimpangan terbesar, sedangkan Uji Chi-Square menguji penyimpangan distribusi data pengamatan dengan mengukur secara matematis kedekatan antara data pengamatan dan seluruh bagian garis persamaan

distribusi teoritisnya. Uji Chi-Square dapat diturunkan menjadi persamaan sebagai berikut (Soewarno, 1995: 194):

$$X^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2-27)$$

dimana:

E_i = Nilai yang diharapkan (*expected frequency*)

O_i = Nilai yang diamati (*observed frequency*)

Tahapan dalam uji ini adalah sebagai berikut:

- ✓ Urutkan data pengamatan dari besar ke kecil atau sebaliknya.
- ✓ Kelompokkan data menjadi G sub grup, tiap - tiap sub grup minimal 4 data pengamatan.
- ✓ Menjumlahkan data pengamatan sebesar O_i tiap-tiap sub grup
- ✓ Menjumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar E_i
- ✓ Untuk tiap-tiap sub grup hitung nilai : $(O_i - E_i)^2$ dan $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ (2-28)

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

- ✓ Menentukan derajat kebebasan, $dk = G - R - 1$ (2-29)
- ✓ Harga X^2 hit dibandingkan dengan harga X^2 Cr dari table Chi Square dengan dk dan jumlah data (n) tertentu. Apabila X^2 hit < X^2 Cr maka hipotesa distribusi dapat diterima. Untuk tabel 2.7. Nilai *Precentile* X_p^2 terhadap derajat bebas v untuk uji Chi Square terlampir pada lampiran.

2.3.5. Intensitas Hujan

Besarnya curah hujan adalah volume air yang jatuh pada suatu areal tertentu. Oleh karena itu besarnya curah hujan dapat dinyatakan dalam meter kubik persatuan luas atau secara lebih umum dinyatakan dalam tinggi air yaitu milimeter (mm). Intensitas curah hujan (I) menyatakan besarnya curah hujan dalam periode tertentu yang dinyatakan dalam satuan mm/jam.

Pada umumnya, semakin besar t (waktu mulai hujan sampai jam ke T) intensitas hujannya semakin kecil. Jika tidak ada waktu untuk mengamati besarnya intensitas hujan atau karena disebabkan tidak adanya alat untuk mengamati, maka untuk menghitung intensitas hujan dapat ditempuh dengan rumus empiris.

Pada studi ini rumus empiris yang digunakan adalah rumus mononobe, karena dapat digunakan untuk waktu t sembarang (Soemarto CD, 1995:14):

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T_c} \right)^{2/3} \quad (2-30)$$

dengan :

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

R_{24} = Curah hujan maksimum selama 24 jam (mm)

RT = curah hujan jam - jaman (mm)

T_c = Waktu konsentrasi curah hujan (jam)

Untuk menentukan tinggi curah hujan rata-rata diatas wilayah tertentu dari beberpa pos pengamatan dapat dilakukan dengan menggunakan cara rata - rata aljabar, metode thiessen, metode isohyet seperti yang dijelaskan sebelumnya.

2.4. Debit Limpasan

Limpasan permukaan (*surface runoff*) merupakan komponen aliran yang besarnya adalah hujan dikurangi besaran infiltrasi. Variabelitas limpasan sangat tergantung variabelitas komponen aliran dasar (*baseflow/groundwater flow*). Besaran hujan yang jatuh ke permukaan tanah, merupakan besaran hujan yang juga bervariasi, karena dipengaruhi juga oleh besar kehilangan air hujan akibat pepohonan (vegetal cover)dll. Oleh karena itu dalam menentukan besarnya limpasan permukaan dapat dilakukan dengan 2 metode yaitu :

1. Metode Horton

Menurut teori Horton (Hortonia Overland Flow) (Chow etal,1988), limpasan permukaan merupakan bagian dari hujan yang tidak terserap oleh tanah. Maka limpasan langsung dapat terjadi ketika intensitas hujan lebih tinggi dari laju infiltrasi, dan apabila laju intensitas hujan lebih kecil dibandingkan laju infiltrasi, maka tidak terjadi limpasan langsung. Meskipun teori Horton sangat sederhana, dalam proses alami yang terjadi dapat menjadi sangat kompleks yang disebabkan karena :

- Hujan tidak merata diseluruh DAS
- Permukaan DAS memiliki tata guna lahan berbeda - beda, sehingga memiliki laju infiltrasi yang berbeda

$$Q = \alpha \cdot h^m \quad (2-31)$$

dengan:

- Q = debit per satuan lebar ($\text{m}^3 \text{ detik}^{-1}$)
 h = limpasan permukaan per unit lahan (m)
 α, m = konstanta (kemiringan lahan)

Dalam analisa, perlakuan terhadap kehilangan air akibat infiltrasi untuk memperkirakan limpasan permukaan dapat dilakukan dengan berbagai cara yang berbeda - beda, antara lain:

- Jika kehilangan air mengikuti lengkung infiltrasi teoritik dengan persamaan
- Jika kehilangan air akibat infiltrasi sebagai kehilangan tetap (*constant loss*), cara ini dilakukan dengan perkiraan kehilangan tetap sebagai indek ϕ (phi indek). Cara ini dapat dilakukan bila terdapat data hujan jam - jaman dan data aliran (*hydrograph*). Kehilangan air akibat infiltrasi dilakukan dengan cara coba- coba untuk dikurangkan dari data hujan jam – jaman yang menimbulkan hidrograf yang bersangkutan.
- Jika kehilangan air merupakan presentasi (%) tetap dari hujan yang bersangkutan, cara ini digunakan dalam rumus rasional. Koefisien limpasan berlaku pada periode tertentu
- Jika adanya sejumlah kehilangan awal (*initial loss*) sebelum terjadinya limpasan. Biasanya prosedur ini diikuti dengan mengestimasi kehilangan air tetap yang disebutkan pada penjelasan sebelumnya, kehilangan awal bervariasi dan didekati dengan besaran dan alasan tertentu.

2. Metode Rasional

Metode untuk memperkirakan keadaan laju aliran permukaan puncak yang umum dipakai adalah Metode Rasional USSCS (1973). Metode ini sangat simpel dan mudah penggunaannya.

Cara ini merupakan tertua menghitung debit banjir dari curah hujan, cara tersebut didasarkan atas rumus :

$$Q = C \cdot I \cdot A \quad (2-32)$$

Apabila digunakan rumus matriks, maka rumus rasional menjadi :

$$Q = \frac{1}{3,6} C \cdot I \cdot A = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (\text{A dalam Km}^2) \quad (2-33)$$

dimana :

- Q = Debit limpasan yang terjadi (m^3/jam)
 I = Intensitas hujan yang merata didaerah yang ditinjau (mm/jam)
 A = Luas daerah pengaliran yang ditinjau (m^3)
 C = Koefisien Pengaliran (Sumber : “Hidrologi TSA-2” Lily Motarcih.2009:141)

Metode rasional dikembangkan berdasarkan asumsi bahwa hujan yang terjadi mempunyai intensitas seragam dan merata diseluruh DAS selama paling sedikit sama dengan waktu konsentrasi (t_c) DAS. Jika asumsi ini terpenuhi, maka curah hujan dan aliran permukaan DAS tersebut dapat digambarkan dalam grafik. Jika hujan lebih kecil dari Q_q karena seluruh DAS tidak dapat memberikan kontribusi aliran secara bersama pada titik kontrol (*outlet*). Sebaliknya jika hujan yang terjadi lebih lama dari t_c maka debit puncak aliran permukaan tetap sama dengan Q_p .

2.4.1. Koefisien Pengaliran

Air hujan yang turun dari atmosfer akan jatuh ke permukaan bumi, sebagaimana akan menguap, berinfiltrasi atau tersimpan dalam cekungan - cekungan dan sisa air hujan akan mengalir langsung diatas permukaan tanah menuju alur aliran terdekat. Untuk perencanaan drainase mendapat perhatian adalah aliran permukaan langsung (*surface runoff*).

Faktor - faktor yang mempengaruhi limpasan adalah :

- Faktor meteorologi yang meliputi intensitas hujan, durasi hujan dan distribusi curah hujan.
- Karakteristik daerah aliran yang meliputi luas dan bentuk aliran, topografi dan tata guna lahan.

Salah satu metode untuk memperkirakan koefisien aliran permukaan (C) adalah metoda Rasional USSCS (1973). Berdasarkan metode ini, faktor utama yang mempengaruhi nilai C adalah laju infiltrasi tanah atau presentase lahan kedap air, kemiringan lahan, vegetasi, sifat dan kondisi tanah dan intensitas hujan.

Nilai C yang mempertimbangkan beberapa faktor utama yang mempengaruhi besaran nilai C disajikan oleh Hassing (1995), Besaran faktor tersebut dapat dilihat, yaitu sebagai berikut :

Tabel 2.8 Koefisien Pengaliran, C (U.S. Forest Service, 1980)

Tataguna lahan	C	Tataguna lahan	C
Perkantoran		Tanah Lapang	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Daerah Pusat kota ▪ Daerah sekitar kota 	0.70-0.95 0.50-0.70	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Berpasir, datar, 2% ▪ Berpasir, agak rata, 2-7% ▪ Berpasir, miring, 7% ▪ Tanah Berat, datar, 2% ▪ Tanah berat, agak rata, 2-7% ▪ Tanah berat, miring, 7% 	0.05-0.10 0.10-0.15 0.15-0.20 0.13-0.17 0.18-0.22 0.25-0.35
Perumahan			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rumah Tinggal ▪ Rumah Susun, terpisah 	0.30-0.50 0.40-0.60		

Tataguna lahan	C	Tataguna lahan	C
<ul style="list-style-type: none"> Rumah susun bersambung Pinggiran Kota 	0.60-0.75 0.25-0.40		
Daerah Industri		Tanah Pertanian, 0-30%	0.30-0.60 0.20-0.50
<ul style="list-style-type: none"> Kurang padat industri Padat industri 	0.50-0.80 0.60-0.90	<ul style="list-style-type: none"> Tanah Kosong - Rata - Kasar Ladang Garapan - Tanah berat, tanpa vegetasi - Tanah berat, dengan vegetasi - Berpasir, tanpa vegetasi - Berpasir, dengan vegetasi Padang Rumput - Tanah berat - Berpasir Hutan/Bervegetasi 	0.30-0.60 0.20-0.50 0.20-0.25 0.10-0.285 0.15-0.45 0.05-0.25 0.05-0.25
Taman, Kuburan	0.10-0.25		
Tempat Bermain	0.20-0.35		
Daerah Stasiun KA	0.20-0.40		
Daerah Tak Berkembang	0.10-0.30		
Jalan Raya	0.70-0.95	Tanah tidak produktif, > 30%	0.70-0.90 0.50-0.70
<ul style="list-style-type: none"> Beraspal Berbeton Berbatu bata 	0.80-0.95 0.70-0.85	<ul style="list-style-type: none"> Rata, kedap air Kasar 	
	0.75-0.85		
Trotoar	0.75-0.95		
Daerah Beratap			

Sumber : Asdak (2001:164)

Penentuan nilai koefisien pengaliran suatu daerah yang terdiri dari beberapa tataguna lahan dilakukan dengan mengambil angka rata - rata koefisien pengaliran dari setiap tata guna lahan dengan menghitung bobot masing - masing bagian sesuai dengan luas daerah yang diwakilinya. Adapun cara perhitungannya dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Suhardjono, 1984:23):

$$C_m = \frac{C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2 + \dots + C_n \cdot A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

$$C_m = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \tag{2-34}$$

dengan :

C_m = Koefisien pengaliran rata - rata.

C_1, C_2, \dots, C_n = Koefisien pengaliran yang sesuai kondisi permukaan.

A_1, A_2, \dots, A_n = Luas daerah pengaliran yang disesuaikan kondisi permukaan. C adalah variabel yang paling sulit diperkirakan dengan tepat, harga ini diambil pada perencanaan yang didasarkan pada perkembangan tata guna lahan tanah terakhir.

2.4.2. Daerah Pengaliran

Luas daerah pengaliran adalah luas wilayah yang jika turun hujan limpasannya mengalir ke alur sungai yang diamati. Luas wilayah ini dapat ditentukan menggunakan planimeter terhadap area DAS yang telah ditentukan berdasarkan peta kontur wilayah pengamatan.

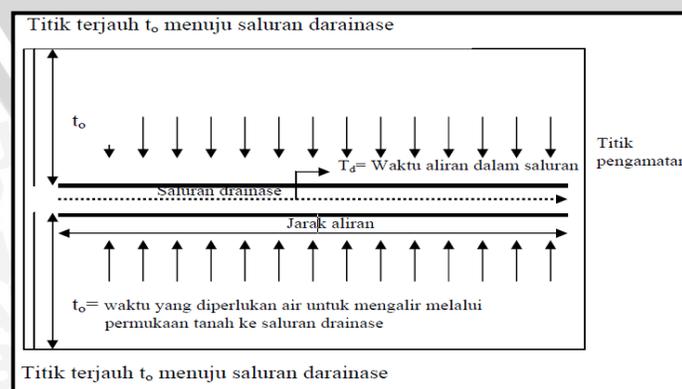
Selain itu bisa juga memperhatikan hal - hal sebagai berikut untuk menentukan daerah pengaliran antara lain:

- Tata guna lahan eksisting dan pengembangannya dimasa mendatang
- Karakteristik tanah dan bangunan diatasnya
- Kemiringan tanah dan bentuk daerah pengaliran
- Luas wilayah DAS juga dapat ditentukan dengan bantuan *Software Geographic Information System* (GIS)

2.4.3. Waktu Konsentrasi

Menurut Wesli (2008:35) pengertian waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan untuk mengalirkan air dari titik yang paling jauh pada daerah aliran ke titik kontrol yang ditentukan di bagian hilir suatu saluran. Pada prinsipnya waktu konsentrasi dapat dibagi menjadi:

- Inlet time* (t_0), yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir di atas permukaan tanah menuju saluran drainase.
- Conduit time* (t_d), yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir di sepanjang saluran sampai titik kontrol yang ditentukan di bagian hilir.



Gambar.2.4 Lintasan aliran waktu inlet time (t_0) dan conduit time (t_d)

Waktu konsentrasi besarnya sangat bervariasi dan dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut ini:

- a) Luas daerah pengaliran
- b) Panjang saluran drainase
- c) Kemiringan dasar saluran
- d) Debit dan kecepatan aliran

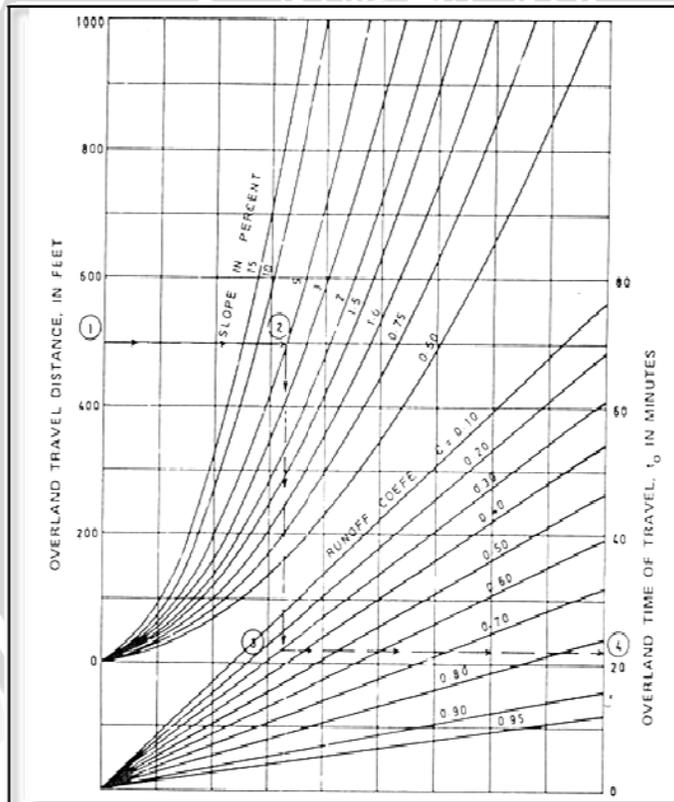
Harga T_c ditentukan dengan menggunakan rumus seperti berikut ini:

$$T_c = T_o + T_d \tag{2-35}$$

dengan:

T_c = Waktu konsentrasi (jam)

T_o = *Overland flow time*/Waktu aliran air permukaan (*runoff*) untuk mengalir melalui permukaan tanah ke saluran/sungai terdekat. Nilai dari T_o didapat dari gambar 2.5, dengan data-data yang diperlukan yaitu panjang aliran yang akan ditempuh, kemiringan lereng rata-rata, dan koefisien pengaliran.



Gambar 2.5 *Overland time of flow nomograph* (T_o)

Sumber: Asdak (2001:16)

Bilamana slope lahan lebih dari 15%, dan panjang lereng lebih dari 1000ft, maka dapat dihitung dengan rumus (Suripin, 2004:82) :

$$T_o = \left[\frac{2}{3} \times 3.28 \times Lx \frac{n}{\sqrt{S}} \right] \quad (2-36)$$

$$T_d = \frac{L_{\text{sungai}}}{60V} \text{ menit, dimana } V = 4,918.S^{1/2} \quad (2-37)$$

Dimana L adalah panjang lintasan aliran diatas permukaan lahan, n adalah angka kekasaran Manning dan S adalah kemiringan lahan.

Atau dengan menggunakan rumus Kirpich :

$$T_c = \frac{0,0195}{60} \times \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,77} \quad (2-38)$$

di mana:

T_c = Waktu Konsentrasi (jam)

t_o = Inlet time ke saluran terdekat (menit)

t_d = Conduit time sampai ke tempat pengukuran (menit)

S = Kemiringan lahan (m)

L = Panjang lintasan aliran di atas permukaan lahan (m)

L_s = Panjang lintasan aliran di dalam saluran (m)

V = Kecepatan aliran di dalam saluran (m/dtk)

2.5. Debit Air Buangan

Debit air buangan adalah debit yang berasal dari air buangan penduduk, oleh sebab itu terlebih dahulu harus dihitung besarnya jumlah penduduk. Debit rata - rata air buangan di tetapkan sebesar 70% - 90% dari jumlah kebutuhan air bersih per hari (Suhardjono, 1984:39). Kebutuhan air bersih per orang perharinya disesuaikan dengan standar yang biasa digunakan serta kriteria pelayanan berdasarkan pada kategori kotanya. Kebutuhan air bersih dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$q_b = M_n \times S \quad (2-39)$$

dengan :

q_b = kebutuhan air

M_n = jumlah penduduk

S = standar kebutuhan air

2.5.1. Pertumbuhan Penduduk

Cara memprediksi pertambahan jumlah penduduk terbagi menjadi 3 antara lain :

1. Cara Geometrik

Dapat dihitung dengan menggunakan cara geometri, yaitu:

$$P_n = P_o(1+r)^n \quad (2-40)$$

dimana:

P_n = jumlah penduduk pada tahun ke n (jiwa/tahun)

P_o = jumlah penduduk pada awal tahun (jiwa/tahun)

r = angka pertumbuhan penduduk (%)

n = interval waktu (tahun)

2. Cara Eksponensial

Dapat dihitung dengan menggunakan cara eksponensial, yaitu:

$$P_n = P_o \cdot E^{r \cdot n} \quad (2-41)$$

dimana:

P_n = jumlah penduduk pada tahun ke n (jiwa/tahun)

P_o = jumlah penduduk pada awal tahun (jiwa/tahun)

e = bilangan logaritma

n = interval waktu (tahun)

3. Cara Aritmatik

Dapat dihitung dengan menggunakan cara aritmatika, yaitu:

$$P_n = P_o(1+r \cdot n) \quad (2-42)$$

dimana:

P_n = jumlah penduduk pada tahun ke n (jiwa/tahun)

P_o = jumlah penduduk pada awal tahun (jiwa/tahun)

r = angka pertumbuhan penduduk (%)

n = interval waktu (tahun)

2.5.2. Debit Air Kotor

Debit aliran air buangan rumah tangga, untuk menghitung debit air buangan rumah tangga, dapat dicari terlebih dahulu sabagai berikut :

- Jumlah penduduk yang terlayani oleh saluran (jiwa)
- Buangan rumah tangga = $70\% \times 160 \text{ L/jiwa/ha}$ (kebutuhan air bersih, L/jiwa/hari)

$$\text{Total debit air : } Q_{\text{rumah tangga}} = \Sigma \text{ Penduduk} \times \text{air buangan}$$

2.6. Kapasitas Saluran

Untuk menghitung kapasitas saluran, dipergunakan persamaan kontinuitas dan rumus manning:

$$Q = A \cdot V \quad (2-43)$$

dimana :

Q = Debit pengaliran

V = Kecepatan rata - rata dalam saluran (m/dt)

A = Luas penampang basah (m²)

2.6.1. Kecepatan Aliran

Kecepatan rata-rata aliran di dalam saluran dapat dihitung dengan menggunakan rumus Manning sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \quad (2-44)$$

$$R = \frac{As}{P} \quad (2-45)$$

dimana:

V = Kecepatan rata - rata aliran di dalam saluran (m/det)

n = Koefisien kekasaran Manning (Tabel 2.9)

R = Jari-jari hidrolis (m)

S = Kemiringan dasar saluran

As = luas penampang saluran (m²)

P = Keliling basah saluran (m)

Nilai koefisien Manning n, untuk gorong-gorong dan saluran pasangan dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel.2.9 Koefisien Kekasaran Manning

Tipe Saluran	Koefisien Manning (n)
a. Baja	0,011-0,014
b. Baja permukaan Gelombang	0,021-0,030
c. Semen	0,010-0,013
d. Beton	0,011-0,015
e. Pasangan Batu	0,017-0,030
f. Kayu	0,010-0,014
g. Bata	0,011-0,015
h. Aspal	0,013

Sumber : Wesli (2008:97)

Nilai kemiringan dinding saluran diperoleh berdasarkan bahan saluran yang digunakan. Nilai kemiringan dinding saluran dapat dilihat pada Tabel.2.10.

Tabel.2.10 Nilai Kemiringan Dinding Saluran Sesuai Bahan

Bahan Saluran	Kemiringan dinding
Batuan/Cadas	0
Tanah lumpur	0,25
Lempung keras/tanah	0,5-1
Tanah dengan pasangan batu	1
Lempung	1,5
Tanah berpasir lepas	2
Lumpur berpasir	3

Sumber : ISBN : 979-8382-49-8

2.6.2. Tinggi Jagaan

Tinggi jagaan atau ambang bebas adalah jarak vertikal dari puncak saluran ke permukaan air pada kondisi rencana. Ambang bebas merupakan jagaan untuk mencegah meluapnya air ke tepi saluran. Ketinggian ambang bebas atau tinggi jagaan (f) ini dapat dicari dengan rumus berikut :

$$f = \sqrt{C_f \cdot D} \tag{2-46}$$

dimana :

d = ketinggian muka air (m)

C_f = koefisien ambang bebas (lihat Tabel 2.11)

Tabel 2.11 Harga C_f untuk suatu rentang debit

Debit Q (m ³ /dt)	C _f
Q ≤ 0,6	0,14
0,6 < Q ≤ 8	0,14-0,22
Q > 8	0,23-0,25

Sumber : Moduto, 1998

2.7. Drainase

Drainase berasal dari bahasa inggris, yaitu *drainage* yang artinya mengalirkan, menguras, membuang, atau mengalihkan air. Secara umum drainase didefinisikan sebagai suatu tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air, baik yang berasal dari air hujan, rembesan, maupun kelebihan air irigasi dari suatu kawasan/lahan, sehingga fungsi kawasan/lahan tidak terganggu.

Drainase merupakan salah satu fasilitas dasar yang dirancang sebagai sistem guna memenuhi kebutuhan masyarakat dan merupakan komponen penting dalam perencanaan kota (perencanaan infrastruktur khususnya).

Menurut Dr. Ir. Suripin, M. Eng. (2004: 7) drainase mempunyai arti mengalirkan, menguras, membuang, atau mengalihkan air. Secara umum, drainase didefinisikan sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan/atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan atau lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal. Drainase juga diartikan sebagai suatu cara pembuangan kelebihan air yang tidak diinginkan pada suatu daerah, serta cara - cara penanggulangan akibat yang ditimbulkan oleh kelebihan air tersebut.

Dari sudut pandang yang lain, drainase adalah salah satu unsur dari prasarana umum yang dibutuhkan masyarakat kota dalam rangka menuju kehidupan kota yang aman, nyaman, bersih, dan sehat. Prasarana drainase di sini berfungsi untuk mengalirkan air permukaan ke badan air (sumber air permukaan dan bawah permukaan tanah) dan atau bangunan resapan. Selain itu juga berfungsi sebagai pengendali kebutuhan air permukaan dengan tindakan untuk memperbaiki daerah becek, genangan air dan banjir. Kegunaan dengan adanya saluran drainase ini adalah untuk mengeringkan daerah becek dan genangan air sehingga tidak ada akumulasi air tanah, menurunkan permukaan air tanah pada tingkat yang ideal, mengendalikan erosi tanah, kerusakan jalan dan bangunan yang ada, mengendalikan air hujan yang berlebihan sehingga tidak terjadi bencana banjir.

Sebagai salah satu sistem dalam perencanaan perkotaan, maka sistem drainase yang ada dikenal dengan istilah sistem drainase perkotaan. Berikut definisi drainase perkotaan :

1. Drainase perkotaan yaitu ilmu drainase yang mengkhususkan pengkajian pada kawasan perkotaan yang erat kaitannya dengan kondisi lingkungan sosial budaya yang ada di kawasan kota.
2. Drainase perkotaan merupakan sistem pengeringan dan pengaliran air dari wilayah perkotaan yang meliputi daerah permukiman, kawasan industri dan perdagangan, kampus dan sekolah, rumah sakit dan fasilitas umum, lapangan, olahraga, lapangan parkir, instalasi militer, listrik, telekomunikasi, pelabuhan, udara. (H.A. Halim Hasmar, 2002:1)
3. Drainase perkotaan merupakan sistem pengeringan dan pengaliran air dari wilayah perkotaan yang meliputi:
 - Pemukiman
 - Kawasan industri dan perdagangan
 - Kampus dan sekolah

- Rumah sakit dan fasilitas umum
 - Lapangan olahraga
 - Lapangan parkir
 - Instalasi milter, listrik, telekomunikasi
 - Pelabuhan udara (Halim Hamsar,2001:1)
4. Drainase merupakan suatu cara pembuangan kelebihan air yang tidak diinginkan pada suatu daerah, serta cara - cara penanggulangan akibat yang ditimbulkan oleh kelebihan air tersebut. (Suhardjono,1984:1)
 5. Drainase adalah sistem saluran pembuangan air hujan yang menampung dan mengalirkan air hujan dan air buangan yang berasal dari daerah terbuka maupun dari daerah terbangun. Bila dilihat dari fungsinya, drainase ini untuk menampung, mengalirkan, dan memindahkan air hujan secepat mungkin dari daerah tangkapan ke badan penerima. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2006:52)

Sistem jaringan drainase perkotaan umumnya dibagi atas 2 bagian, yaitu :

1. Sistem Drainase Makro

Sistem drainase makro yaitu sistem saluran/ badan air yang menampung dan mengalirkan air dari suatu daerah tangkapan air hujan (*Catchment Area*). Pada umumnya sistem drainase makro ini disebut juga sebagai sistem saluran pembuangan utama (*major system*) atau drainase primer. Sistem jaringan ini menampung aliran yang berskala besar dan luas seperti saluran drainase primer, kanal-kanal atau sungai-sungai. Perencanaan drainase makro ini umumnya dipakai dengan periode ulang antara 5 sampai 10 tahun dan pengukuran topografi yang detail mutlak diperlukan dalam perencanaan sistem drainase ini.

2. Sistem Drainase Mikro

Sistem drainase mikro yaitu sistem saluran dan bangunan pelengkap drainase yang menampung dan mengalirkan air dari daerah tangkapan hujan. Secara keseluruhan yang termasuk dalam sistem drainase mikro adalah saluran di sepanjang sisi jalan, saluran/ selokan air hujan di sekitar bangunan, gorong - gorong, saluran drainase kota dan lain sebagainya dimana debit air yang dapat ditampungnya tidak terlalu besar. Pada umumnya drainase mikro ini direncanakan untuk hujan dengan masa ulang 2, 5 atau 10 tahun tergantung pada tata guna lahan yang ada. Sistem drainase untuk lingkungan permukiman lebih cenderung sebagai sistem drainase mikro.

Bila ditinjau dari segi fisik (hirarki susunan saluran) sistem drainase perkotaan diklassifikasikan atas saluran primer, sekunder, tersier dan seterusnya.

1. Saluran Primer

Saluran yang memanfaatkan sungai dan anak sungai. Saluran primer adalah saluran utama yang menerima aliran dari saluran sekunder.

2. Saluran Sekunder

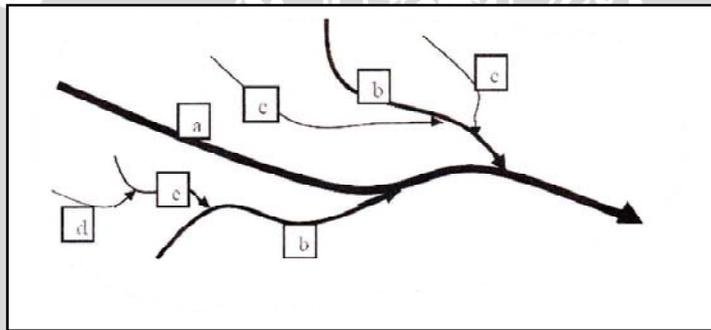
Saluran yang menghubungkan saluran tersier dengan saluran primer (dibangun dengan beton/ plesteran semen).

3. Saluran Tersier

Saluran untuk mengalirkan limbah rumah tangga ke saluran sekunder, berupa plesteran, pipa dan tanah.

4. Saluran Kuarter

Saluran kolektor jaringan drainase lokal.



Gambar.2.6 Hirarki Susunan Saluran
Sumber : Saragi (2007:11)

Keterangan:

a = Saluran primer

c = Saluran tersier

b = Saluran sekunder

d = Saluran kwarter

Jenis drainase menurut letak saluran terbagi menjadi empat bagian, antara lain :

1. Drainase muka tanah tanah (*Surface Drainage*)

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

2. Drainase bawah muka tanah (*Sub Surface Drainage*)

Saluran drainase yang bertujuan mengalirkan air limpasan permukaan melalui permukaan tanah (pipa - pipa), dikarenakan alasan-alasan tertentu. Alasan itu antara lain : tuntutan artistik, tuntutan fungsi permukaan tanah yang tidak membolehkan

adanya saluran di permukaan tanah seperti lapangan sepak bola, lapangan terbang, taman, dan lain - lain. Drainase bawah muka tanah juga berfungsi untuk menampung dan membuang air yang masuk ke dalam struktur jalan, sehingga tidak sampai menimbulkan kerusakan pada jalan.

Pengaruh air yang terperangkap di dalam struktur kerusakan jalan, antara lain ;

- Air menurunkan kekuatan material yang melapisi jalan tersebut,
- Air menyebabkan penyedotan pada perkerasan beton yang dapat menyebabkan retakan dan kerusakan pada bahu jalan,
- Dengan tekanan hidrodinamik yang tinggi akibat pergerakan kendaraan, menyebabkan material halus pada lapisan dasar perkerasan fleksibel yang mengakibatkan hilangnya daya dukung,
- Kontak dengan air yang terus menerus dapat menyebabkan pengikisan campuran aspal dan daya keretakan beton,
- Air menyebabkan perbedaan peranan pada tanah yang bergelombang.

Jenis drainase menurut konstruksinya dibedakan menjadi dua bagian. Berikut ini adalah penjelasan tentang jenis drainase menurut konstruksinya :

1. Saluran Terbuka (*Open channels*)

Saluran untuk air hujan yang terletak di area yang cukup luas. Juga untuk saluran air non hujan yang tidak mengganggu kesehatan lingkungan. Fungsinya adalah untuk menyalurkan air yang belum tercemar atau yang kualitasnya tidak membahayakan. Lokasinya pada daerah yang masih cukup tersedia lahan serta tidak pada daerah sibuk (pertokoan, pasar, dan sebagainya).

Bentuk saluran terbuka biasanya merupakan saluran alami yang tidak teratur tetapi bentuk saluran buatan diatur menurut fungsi dan lokasinya, yang terdiri dari trapesium, segiempat, segitiga dan setengah lingkaran. Jika debit berfluktuasi maka bentuk saluran dapat dikombinasikan dan segiempat kombinasi. Contoh saluran terbuka adalah sungai, irigasi, selokan, dan estuary.

2. Saluran Tertutup (*closed conduits*)

Saluran untuk air kotor yang mengganggu kesehatan lingkungan. Juga untuk saluran dalam kota. Fungsinya untuk menyalurkan air baik yang sudah tercemar maupun yang belum tercemar. Air tercemar merupakan air limbah bekas dari daerah perumahan dan industri yang mungkin pembuangannya disalurkan dengan menyalurkan air limbah hujan. Bentuk saluran tertutup diantaranya adalah bulat

lingkaran, elips, dan tapal kuda. Contoh saluran tertutup adalah terowongan, pipa, jembatan air (*aqueduct*), gorong - gorong, dan *shipon*.

Jenis drainase menurut lintasan dalam wilayah administrasi kota dibedakan menjadi dua bagian. Berikut ini adalah penjelasan tentang jenis drainase menurut lintasan dalam wilayah administrasi kota :

1. Saluran Drainase Regional

Saluran drainase yang berawalan dari luar batas administrasi kota, awalan/hulunya berada relatif jauh dari batas kota, lajur salurannya melintasi wilayah kota.

2. Saluran Drainase Kota

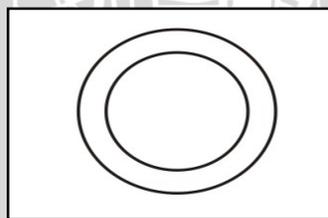
Saluran drainase yang mempunyai hulu/awalan aliran berada di dalam wilayah kota. Saluran drainase kota mungkin bermuara pada saluran drainase regional, baik yang berada di wilayah kota maupun yang berada di luar wilayah batas kota. Saluran kota yang bermuara di luar batas kota, bagian lajur yang berada di luar batas kota dapat disebut lajur saluran drainase regional.

2.7.1. Bentuk saluran

Bentuk saluran alami biasanya tidak teratur, tetapi bentuk saluran buatan diatur menurut fungsi dan lokasinya. Bentuk saluran buatan diantaranya sebagai berikut :

a. Lingkaran

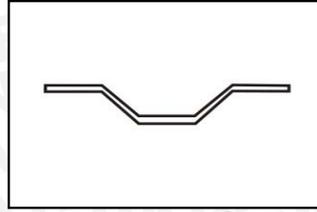
Berfungsi untuk menyalurkan limpasan air hujan maupun limbah air bekas (air limbah) rumah tangga atau keduanya. Konstruksi sistem saluran ini cocok dipakai untuk pertokoan yang sangat padat dan lahan yang tersedia telah terbatas.



Gambar 2.7 Bentuk saluran drainase tipe lingkaran

b. Trapesium

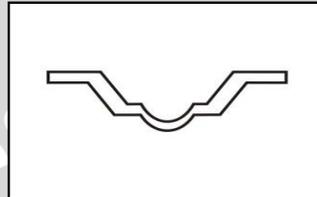
Trapesium, merupakan bentuk yang paling umum dipakai untuk saluran tanah yang tidak dilapisi, sebab stabilitas kemiringan dindingnya dapat disesuaikan. Berfungsi untuk menampung dan menyalurkan limpasan air hujan dengan debit yang besar, sifat alirannya terus menerus dengan fluktuasi kecil, bentuk saluran ini dapat digunakan pada daerah yang masih cukup tersedia lahan.



Gambar 2.8 Bentuk saluran drainase tipe trapesium

c. Trapesium kombinasi dengan setengah lingkaran

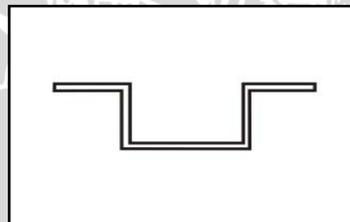
Sama dengan trapesium berganda, tetapi dengan debit minimum kecil.



Gambar 2.9 Bentuk saluran drainase tipe trapesium kombinasi dengan setengah lingkaran

d. Segiempat

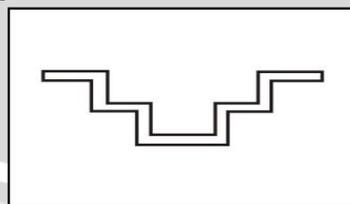
Persegi panjang, untuk saluran yang dibangun dengan bahan stabil, seperti pasangan batu, padas, logam/kayu. Berfungsi untuk menampung dan menyalurkan limpasan air hujan dengan debit yang besar, sifat alirannya terus menerus dengan fluktuasi kecil.



Gambar 2.10 Bentuk saluran drainase tipe segiempat

e. Segiempat berganda

Sama dengan segiempat, api untuk fluktuasi debit yang besar dan dengan debit minimum yang cukup besar pula.

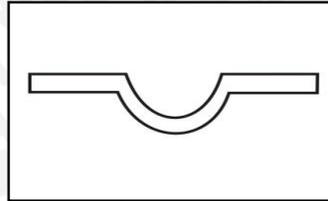


Gambar 2.11 Bentuk saluran drainase tipe segiempat berganda

f. Setengah lingkaran.

Dipakai sebagai penampang pendekatan untuk saluran alam berukuran sedang maupun kecil. Berfungsi untuk menyalurkan limbah air hujan untuk debit yang kecil,

bentuk saluran ini umum digunakan untuk saluran - saluran rumah penduduk dan pada sisi jalan perumahan yang padat.



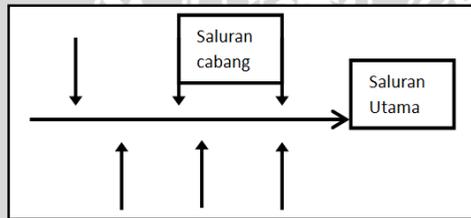
Gambar 2.12 Bentuk saluran drainase tipe setengah lingkaran

2.7.2. Pola Jaringan Drainase

Sistem drainase mempunyai enam pola jaringan drainase dilihat dari letak daerah yang terdapat jaringan drainase tersebut. Berikut ini adalah penjelasan pola jaringan drainase:

a. Siku

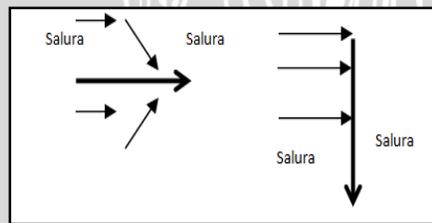
Dibuat pada daerah yang mempunyai topografi sedikit lebih tinggi dari pada sungai. Sungai sebagai saluran pembuangan akhir berada di tengah kota.



Gambar 2.13 Pola jaringan drainase siku

b. Paralel

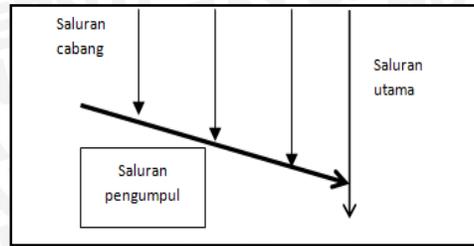
Saluran utama terletak sejajar dengan saluran cabang. Dengan saluran cabang (sekunder) yang cukup banyak dan pendek - pendek, apabila terjadi perkembangan kota, saluran - saluran akan dapat menyesuaikan diri.



Gambar 2.14 Pola jaringan drainase paralel

c. Grid Iron

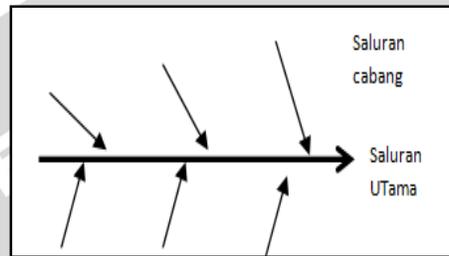
Untuk daerah dimana sungainya terletak di pinggir kota, sehingga saluran-saluran cabang dikumpulkan dulu pada saluran pengumpul.



Gambar 2.15 Pola jaringan drainase grid iron

d. Alamiah

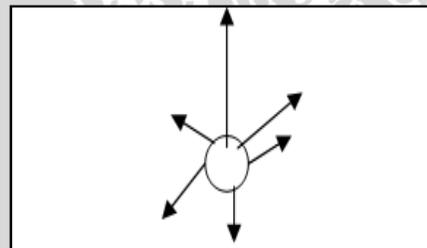
Sama seperti pola siku, hanya beban sungai pada pola alamiah lebih besar.



Gambar 2.16 Pola jaringan drainase alamiah

e. Radial

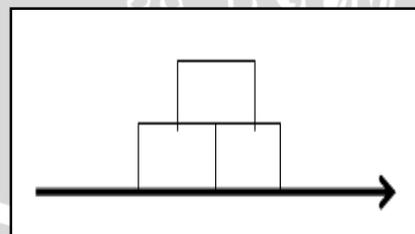
Pada daerah berbukit, sehingga pola saluran memencar ke segala arah.



Gambar 2.17 Pola jaringan drainase radial

f. Jaring-Jaring

Mempunyai saluran - saluran pembuangan yang mengikuti arah jalan raya dan cocok untuk daerah dengan topografi datar.



Gambar 2.18 Pola jaringan drainase jaring-jaring

2.8. Genangan banjir

Data yang dikumpulkan meliputi tinggi muka air maksimum dan kedalaman genangan, luas dan persebaran daerah genangan, lamanya genangan, sumber air, dan

arah aliran air, frekuensi terjadinya genangan, penyebab terjadinya genangan. (Suripin, 2004:237).

a. Kriteria Penilaian tingkat genangan (Suripin, 2004:237).

Dalam kriteria penilaian tingkat genangan, terdapat hal-hal yang menyebabkan terjadinya genangan air di suatu lokasi. Penyebab tersebut antara lain ;

- Dimensi saluran yang tidak sesuai,
- Perubahan tata guna lahan yang menyebabkan terjadinya peningkatan debit banjir di suatu daerah aliran sistem drainase,
- Elevasi saluran tidak memadai,
- Lokasi merupakan daerah cekungan,
- Lokasi merupakan tempat retensi air yang diubah fungsinya misalnya menjadi permukiman. Ketika berfungsi sebagai tempat retensi (parkir alir) dan belum dihuni adanya genangan tidak menjadi masalah. Problem timbul ketika daerah tersebut dihuni,
- Tanggul kurang tinggi,
- Kapasitas tampungan kurang besar,
- Dimensi gorong-gorong terlalu kecil sehingga aliran balik,
- Adanya penyempitan saluran,
- Tersumbat saluran oleh endapan, sedimentasi atau timbunan sampah.

b. Perencanaan sistem drainase

Langkah pertama yang perlu diperhatikan adalah mengetahui secara pasti dan rinci penyebab terjadinya genangan. Berdasarkan data kondisi saat ini dan data genangan, dapat disusun usaha - usaha perbaikan drainase yang memungkinkan yang dapat dipilih dari beberapa alternatif berikut ; (Suripin, 2004:239)

- Penurunan debit dengan pembuatan resapan air dan daerah simpanan (*retention area*) di daerah hulu dan tengah,
- Pembuatan saluran tambahan untuk mengurangi daerah tangkapan,
- Perbaikan dan atau normalisasi saluran drainase,
- Pembuatan pintu klep untuk mengatasi air tinggi di saluran induk,
- Pengurangan daerah-daerah tertentu,
- Pembuatan stasiun pompa dan kolam penampungan.

c. Perencanaan saluran drainase

Saluran drainase harus direncanakan untuk dapat melewati debit rencana dengan aman. Perencanaan teknis saluran drainase mengikuti tahapan - tahapan sebagai berikut ; (Suripin, 2004:240)

- Menentukan debit rencana,
- Menentukan jalur (*trase*) saluran,
- Merencanakan profil memanjang saluran,
- Merencanakan penampang melintang saluran,
- Mengatur dan merencanakan bangunan - bangunan serta fasilitas sistem drainase.

2.9. Sistem Informasi Geografis Untuk Identifikasi Lokasi Genangan

2.9.1. Definisi Sistem Informasi Geografis

Sistem informasi geografis yang selanjutnya akan disebut SIG merupakan sistem informasi berbasis komputer yang digunakan untuk mengelola dan menyimpan data atau informasi geografis (Aronoff,1989).

Selain itu, secara umum SIG diartikan sebagai suatu komponen yang terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, data geografis dan sumberdaya manusia yang bekerja bersama secara efektif untuk memasukkan, menyimpan, memperbaiki, memperbaharui, mengelola, memanipulasi, mengintegrasikan, menganalisa data spasial dengan mengaitkan data atau informasi atribut untuk menyatukan tipe data yang berbeda ke dalam suatu analisa tunggal dan menampilkan data dalam suatu informasi berbasis geografi .

Sedangkan menurut ESRI definisi SIG adalah kumpulan yang terorganisir dari perangkat keras komputer, perangkat lunak, data geografi dan personil yang dirancang secara efisien untuk memperoleh, menyimpan, mengupdate, memanipulasi, menganalisis dan menampilkan semua bentuk informasi yang bereferensi geografi (ESRI, 1990).

Dalam pembahasan selanjutnya, SIG akan selalu diasosiasikan dengan sistem yang berbasis komputer, walaupun pada dasarnya SIG dapat dikerjakan secara manual, SIG yang berbasis komputer akan sangat membantu ketika data geografis merupakan data yang besar (dalam jumlah dan ukuran) dan terdiri dari banyak tema yang saling berkaitan.

SIG mempunyai kemampuan untuk menghubungkan berbagai data pada suatu titik tertentu di bumi, menggabungkannya, menganalisa dan akhirnya memetakan hasilnya. Data yang akan diolah pada SIG merupakan data spasial yaitu sebuah data

yang berorientasi geografis dan merupakan lokasi yang memiliki sistem koordinat tertentu, sebagai dasar referensinya. Sehingga aplikasi SIG dapat menjawab beberapa pertanyaan seperti; lokasi, kondisi, trend, pola dan pemodelan. Kemampuan inilah yang membedakan SIG dari sistem informasi lainnya.

Telah dijelaskan diawal bahwa SIG adalah suatu kesatuan sistem yang terdiri dari berbagai komponen, tidak hanya perangkat keras komputer beserta dengan perangkat lunaknya saja akan tetapi harus tersedia data geografis yang benar dan sumberdaya manusia untuk melaksanakan perannya dalam memformulasikan dan menganalisa persoalan yang menentukan keberhasilan SIG.

Dari definisi – definisi di atas, Sistem Informasi Geografi dapat disimpulkan merupakan konfigurasi dari *hardware* dan *software* digunakan untuk *compiling*, *storing*, *managing*, manipulasi, analisa, dan pemetaan (sebagai tampilan) informasi keruangan. Ini mengkombinasikan fungsional dari program komputer grafis, peta elektrolik, dan basis data (Heastad & Durrant,2003)

Dua keistimewaan analisa data berdasarkan SIG (Husein, 2006) yaitu :

a) Analisa *Proximity*

Analisa *Proximity* merupakan suatu geografi yang berbasis pada jarak antar layer. Dalam analisi *proximity* GIS menggunakan proses yang disebut dengan *buffering* (membangun lapisan pendukung sekitar *layer* dalam jarak tertentu untuk menentukan dekatnya hubungan antara sifat bangunan yang ada).

b) Analisa *Overlay*

Proses integrasi data dari lapisan – lapisan layer yang berbeda disebut dengan *overlay*. Secara analisa membutuhkan lebih dari satu layer yang akan ditumpang susun secara fisik agar bisa dianalisa secara visual.

2.9.2. Input Data Geometrik

Sistem Informasi Geografi menggunakan perangkat untuk mendigitasi atau menggambarkan peta, menghasilkan data serta analisisnya. *Digitizing tools* dapat mengkonversikan peta *hard copy* kedalam format *soft copy* atau elektronik. Format peta ini juga dapat dikonversi ke dalam program teknik, seperti CAD atau program teknik lainnya.

Input Data Geometrik berupa :

- Fitur yaitu *points* (titik), *lines* (garis), *polygon* dan teks
- Atribut
- Imagery

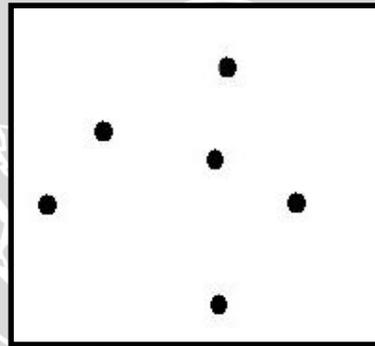
- Surface

2.9.2.1. Fitur

Fitur geografi direpresentasikan pendekatan serupa dari rupa bumi. Fitur geografi berupa natural seperti vegetasi, sungai, tanah dan sebagainya, berupa konstruksi atau buatan manusia seperti bangunan, jembatan, pipa dan sebagainya, dan sebagainya. Objek – objek tersebut direpresentasikan sebagai titik (*points*), garis (*lines*) dan luasan area (*polygons*).

– *Points*

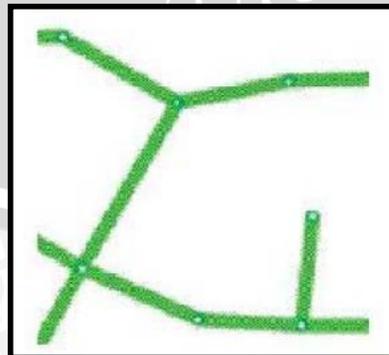
Didefinisikan untuk objek – objek yang terlalu kecil dan tidak dapat direpresentasikan oleh garis dan polygon. Points memiliki satu titik koordinat (X,Y,Z) saja. Contoh seperti lokasi sumur, stasiun hujan, point juga mempresentasikan titik koordinat dari GPS, atau titik ketinggian dan sebagainya.



Gambar 2.19 Fitur berupa titik (*points*)
Sumber : ArcGIS User'Guide,2002

– *Lines*

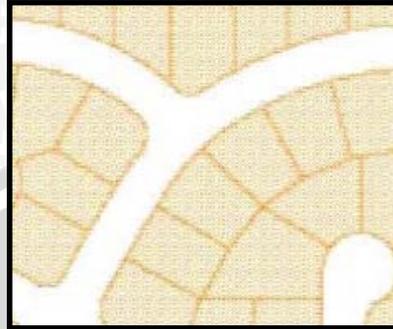
Merepresentasikan objek geografi yang berupa garis yang memiliki dua koordinat (X,Y,Z) yang dihubungkan. Contoh objek yang berupa garis (*lines*) adalah jalan raya, sungai, jaringan drainase dan sebagainya.



Gambar 2.20 Fitur berupa garis (*lines*)
Sumber : ArcGIS User'Guide,2002

– Poligon

Adalah area tertutup yang berupa lokasi homogen seperti administrasi, jenis tanah, jenis penggunaan lahan, dan sebagainya.



Gambar 2.21 Fitur berupa area (*polygons*)
 Sumber : ArcGIS User'Guide,2002

2.9.2.2. Attribut

Berupa informasi yang terkait dengan fitur, dan dihubungkan dengan symbol warna dan label. Didalam Sistem Informasi Geografi atribut diatur di dalam tabel yang terkait dengan konsep database.

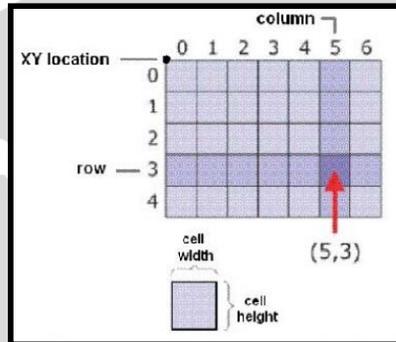
FID	Shape *	ID	LAYER	Jalan	L_Drainage	Q_Eks	Q_Limp
0	Polyline ZM	1	Saluran Tersier	Jl. Retawu	2134.88	0.23	0.447
1	Polyline ZM	2	Saluran Tersier	Jl. Pahlawan	1038.88	2.744	0.206
2	Polyline ZM	3	Saluran Tersier	Jl. Jakarta	1680.62	0.357	0.274
3	Polyline ZM	4	Saluran Tersier	Jl. Kauman	259.27	0.371	0.071
4	Polyline ZM	5	Saluran Tersier	Jl. Bogor	814.72	1.102	0.206
5	Polyline ZM	6	Saluran Sekunder	Jl. Semeru	1791.81	0.838	0.475
6	Polyline ZM	7	Saluran Sekunder	Jl. Panggung	602.55	0.362	0.12
7	Polyline ZM	8	Saluran Sekunder	Jl. Buring	1385.51	0.737	0.281
8	Polyline ZM	9	Saluran Sekunder	Jl. Besar Ijen	356.06	0.485	0.036
9	Polyline ZM	10	Saluran Sekunder	Jl. Besar Ijen	104.18	0.289	0.021
10	Polyline ZM	11	Saluran Sekunder	Jl. Besar Ijen	417.39	0.434	0.138
11	Polyline ZM	12	Saluran Sekunder	Jl. Ijen	705.92	0.616	0.549
12	Polyline ZM	13	Saluran Kuarter	Jl. S.W.Pranoto	170.78	0.485	0.302
13	Polyline ZM	14	Saluran Kuarter	Jl. Zainul Arifin	304.63	0.342	0.678
14	Polyline ZM	15	Saluran Kuarter	Jl. Merdeka timur	178.33	0.177	0.221
15	Polyline ZM	16	Saluran Tersier	Jl. Aris Munandar	606.73	0.592	0.044
16	Polyline ZM	17	Saluran Sekunder	Jl. Bridjen S. Riyadi	1865.36	0.514	1.292
17	Polyline ZM	18	Saluran Tersier	Jl. Hasanudin	527.53	0.242	0.225
18	Polyline ZM	19	Saluran Tersier	Jl. Tretes Selatan	169.19	0.841	0.076
19	Polyline ZM	20	Saluran Tersier	Jl. J.A. Suprpto II	297.21	0	0
20	Polyline ZM	21	Saluran Sekunder	Jl. J.A. Suprpto	231.36	4.622	0.156
21	Polyline ZM	22	Saluran Sekunder	Jl. Panglima Sudirman	194.03	2.361	0.016
22	Polyline ZM	23	Saluran Tersier	Jl. Patimura	189.03	0.232	0.017
23	Polyline ZM	24	Saluran Tersier	Jl. Suropati	728.93	0.554	0.421
24	Polyline ZM	25	Saluran Sekunder	Jl. Belakng RSU	365.3	0.347	0.056
25	Polyline ZM	26	Saluran Sekunder	Jl. Turnojoyo	152.71	0.076	0.043
26	Polyline ZM	27	Saluran Tersier	Jl. Patimura	722.77	0.12	0.801
27	Polyline ZM	28	Saluran Tersier	Jl. Gajahmada	381.31	0.521	0.294
28	Polyline ZM	29	Saluran Tersier	Jl. Kertanegara	249.53	0.417	0.211

Gambar. 2.22 Attribut berupa baris dan kolom

Deskripsi dari data diorganisir ke dalam tabel, tabel memiliki baris, dan semua baris pada tabel memiliki kolom. Kolom memiliki tipe unik seperti integer, batas decimal, karakter dan lain – lain.

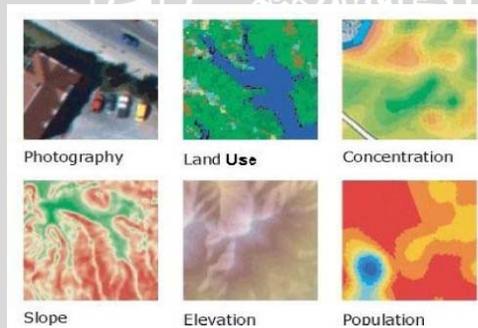
2.9.2.3. Imagery

Terdiri dari struktur data raster yang terdiri dari baris dan kolom. Nilai yang dihitung adalah nilai *pixel*, dimana objek akan memberikan sinyal ke sensor, kemudian diterjemahkan dalam nilai *pixel*.



Gambar 2.23 Fitur berupa area (*polygons*)
 Sumber : ArcGIS User'Guide,2002

Imagery juga umum digunakan untuk menentukan objek yang terlihat dan tidak terlihat dengan menggabungkan (*composite*) saluran (*bands*) dimana tiap saluran memiliki sensor dengan panjang gelombang yang berbeda. Ini memungkinkan untuk penelitian terapan untuk ilmu kebumihan seperti hidrologi, geologi, dan sebagainya.

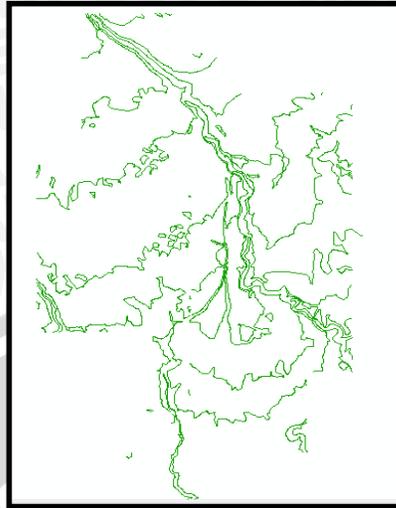


Gambar 2.24 Contoh jenis – jenis *imagery*.
 Sumber : ArcGIS User'Guide,2002

2.9.2.4. Surface

Surface erat kaitannya dengan data model medan, yang terdiri dari beberapa macam, diantaranya :

- Garis Kontur
 Garis imajiner yang menghubungkan titik – titik ketinggian di rupa bumi yang memiliki nilai sama.



Gambar 2.25 Garis Kontur
Sumber : Kontur Peta Bakosurtanal

– Raster Dataset

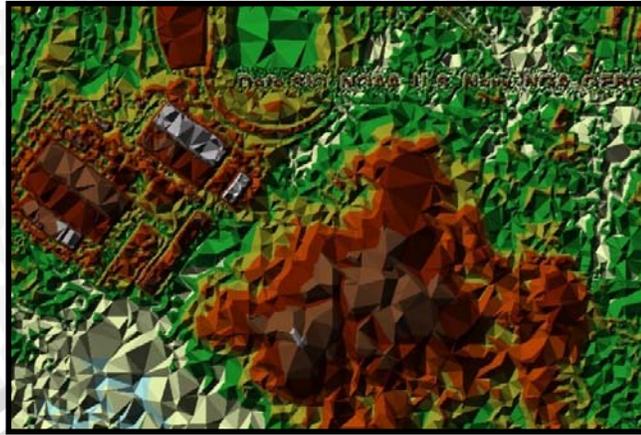
Seperti konsep imagery namun, lebih menekankan nilai pixel dengan ketinggian medan. Contohnya untuk pembuatan DEM (*Digital Elevation Model*) untuk merepresentasikan bentuk rupa bumi.



Gambar 2.26 Digital Elevation Model (DEM)
Sumber : Peta Bakosurtanal

– TIN Layer

Model TIN (*Triangulate Irregular Network*) yaitu data struktur yang terdiri dari titik seperti elevasi muka bumi yang dihubungkan oleh jaringan segitiga. Sama halnya dengan DEM tapi TIN merupakan model dengan pendekatan interpolasi beberapa titik yang memiliki nilai ketinggian.



Gambar 2.27 Triangulate Irregular Network

Kemampuan dalam menerjemahkan fenomena spasial dan analisis data menggunakan Sistem Informasi Geografi membantu juga dalam mengevaluasi model *responsibility* seperti aliran permukaan terhadap saluran drainase.

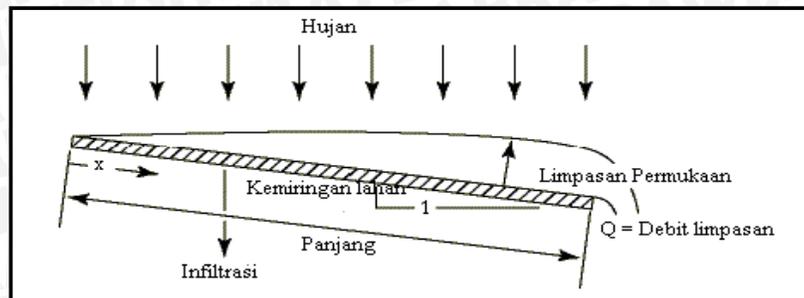
2.10. Model KINEROS

Model KINEROS, adalah bagian dari program AGWA yang merupakan alat untuk menganalisis fenomena hidrologi untuk penelitian tentang daerah pengaliran sungai.

Model ini dirancang untuk mensimulasikan proses infiltrasi, kedalaman limpasan permukaan dan erosi yang terjadi pada suatu DAS dengan skala yang relatif kecil yaitu $\leq 100 \text{ km}^2$ (AGWA *theoretical documentation*, 2000).

2.10.1. Dasar filosofis model KINEROS

Dasar pemikiran dari model KINEROS adalah, apabila suatu lahan menerima hujan dengan intensitas tertentu, maka air yang jatuh ke permukaan tanah sebagian akan terinfiltrasi ke dalam tanah sampai batas kejenuhan tertentu, sedangkan sebagian lagi akan melimpas di atas permukaan tanah atau menggenang, keadaan ini tergantung dari kemampuan tanah dalam menyerap air berdasarkan berbagai faktor yang mempengaruhinya, antara lain kemiringan dari suatu lahan, komponen - komponen penyusun tanah dan sifat - sifat fisik tanah. Dengan memasukkan semua parameter yang diperlukan untuk menjalankan model KINEROS, maka akan diperoleh nilai dari infiltrasi dan limpasan permukaan yang berupa kedalaman infiltrasi dan kedalaman limpasan permukaan yang terjadi. Dasar pemikiran model KINEROS tersebut dapat diilustrasikan sebagaimana berikut:



Gambar 2.28 Ilustrasi Model KINEROS

Sumber : www.alanasmith.com

Data-data yang diperlukan dalam model KINEROS terdiri dari data utama dan data sementara. Data utama merupakan sekumpulan data yang digunakan untuk membuat sketsa DAS, permukaan tanah, parameterisasi tanah serta untuk menuliskan *file-file* presipitasi yang terdiri dari: *Digital Elevation Model (DEM)*, tekstur tanah, permukaan tanah dan parameter hujan, sedangkan data sementara adalah semua data yang dihasilkan selama berlangsung proses pengerjaan model KINEROS, yaitu pola arah aliran, pola akumulasi aliran, pola jalur arus, batas dan bentuk DAS. Data-data tersebut harus tersimpan dalam bentuk *file* untuk memudahkan dalam proses model KINEROS.

2.10.2. Infiltrasi

Model KINEROS membutuhkan tiga parameter dasar. Ketiga parameter karakteristik hidraulik tanah tersebut adalah konduktivitas hidraulik area efektif jenuh (K_s), dorongan pembuluh kapiler (G) serta porositas (ϕ). Untuk memungkinkan dilakukannya perkiraan terhadap perilaku redistribusi tanah, maka model KINEROS membutuhkan satu parameter tambahan, yaitu indeks distribusi ukuran pori-pori (λ), nama ini seperti ditulis oleh Brooks & Corey (1964), merupakan deskripsi sederhana dari karakteristik hidraulik tanah yang dipakai pada model ini. Untuk serangkaian dampak dari variasi spasial yang terjadi secara normal dalam konduktivitas hidraulik tanah (K_s), dapat disimulasikan dengan memberikan nilai pada koefisien variasi pada parameter ini, yaitu dengan menggunakan parameter pilihan CvK (koefisien variasi dari parameter konduktivitas), yang menjelaskan variasi random di dalam karakteristik hidraulik tanah. Untuk profil tanah berlapis dua, maka parameter tersebut di atas mempunyai indeks 1 atau 2. Hal ini menunjukkan, bahwa indeks tersebut dipakai pada lapisan tanah lebih atas atau lebih bawah secara berurutan.

Di dalam KINEROS terdapat variabel bergantung, yaitu kejenuhan relatif maksimum pada tingkat awal dari lapisan tanah bagian atas (SI). Kejenuhan relatif

maksimum ini merupakan nilai skala dari kandungan air, yang nilai 1 merupakan kandungan air yang sama dengan porositasnya. Kandungan air berdasarkan volume disimbolkan dengan θ , yang mana $\theta = \phi S$, dan batas atas alami S yang kurang dari 1 (parameter S_{max}).

Model infiltrasi tanah ini menguraikan infiltrabilitas (f_c) sebagai fungsi dari kedalaman infiltrasi (I). Dalam prakteknya, pola bebas dari tingkat curah hujan (r) sebelum waktu yang dipilih dan kapasitas infiltrasi selama masa hujan berlangsung, merupakan fungsi dari total kedalaman yang diinfiltrasi, dengan nilai $r > K_s$ pada waktu sebelum waktu yang dipilih tersebut. Definisi infiltrabilitas di sini mengikuti pendapat Hillel (1971) yang menyatakan, bahwa infiltrabilitas merupakan nilai ambang batas air yang bisa memasuki permukaan tanah. Definisi tersebut sering dinamakan dengan kapasitas infiltrasi, namun kapasitas bukanlah istilah yang dinamis.

Model umum satu lapis untuk infiltrabilitas (f_c) sebagai fungsi dari kedalaman infiltrasi (I), dirumuskan sebagai berikut (Parlange *et al.*, 1982):

$$f_c = K_s \left[1 + \frac{\alpha}{\exp\left(\frac{\alpha I}{B}\right) - 1} \right] \quad (2-47)$$

dengan:

$B = (G + hw)(\theta_s - \theta_i)$ dikombinasikan dengan dampak dari dorongan kapilaritas bersih

$hw =$ kedalaman air permukaan

$\Delta\theta = (\theta_s - \theta_i)$ adalah kapasitas unit penampungan

Parameter α menunjukkan tipe atau jenis tanah. Untuk tanah pasir nilai $\alpha = 0$, dan dalam kondisi tersebut persamaan (2-47) mendekati rumus Green-Ampt. Nilai α pada tanah liat mendekati 1, dan dalam kondisi tersebut persamaan (2-47) menggambarkan persamaan infiltrasi Smith-Parlange, tetapi kebanyakan jenis tanah menggunakan nilai α mendekati 0,85.

2.10.3. Limpasan

Analisis limpasan permukaan dalam model KINEROS merupakan pengembangan dari teori Hortonian Overland Flow (HOF) sebagai berikut: (Ven Te Chow, 1988)

$$Q = \alpha h^m \quad (2-48)$$

dengan:

Q = debit per satuan lebar ($m^3 \text{ detik}^{-1}/\text{lebar}$)

h = limpasan permukaan per unit lahan (m)

α, m = konstanta/ faktor yang mempengaruhi kemiringan lahan dan kekasaran lahan

Parameter α dan m dipengaruhi oleh kef miringan lahan, kekasaran permukaan dan rejim aliran. Persamaan (2-48) digunakan dalam hubungan dengan persamaan kontinuitas berikut:

$$\alpha = 1,49 \frac{S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad \text{dan} \quad m = \frac{5}{3} \quad (2-49)$$

dengan:

S = kemiringan lahan

n = angka kekasaran manning untuk limpasan permukaan

Jika yang digunakan adalah persamaan Chezy, maka persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\alpha = CS^{\frac{1}{2}} \quad \text{dan} \quad m = \frac{3}{2} \quad (2-50)$$

dengan:

S = kemiringan lahan

C = angka kekasaran Chezy untuk limpasan permukaan

Faktor kemiringan lahan dalam model KINEROS secara otomatis dapat diidentifikasi melalui proses *DEM* seperti yang telah dijelaskan di atas, sedangkan nilai kekasaran didapatkan berdasarkan jenis tanah dan penggunaan lahan.

2.10.4. Prosedur model KINEROS

Prosedur model KINEROS terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

a. *Digital Elevation Model (DEM)*

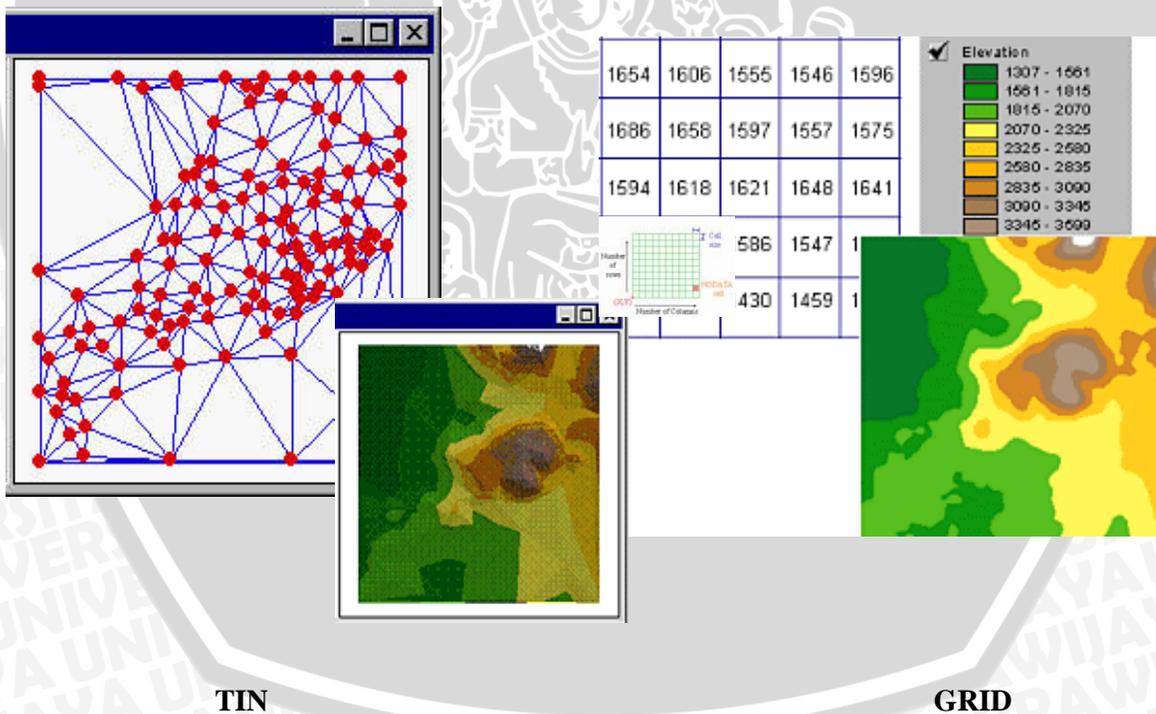
Model Permukaan Digital (*Digital Elevation Model* atau juga biasa disebut sebagai *Digital Terrain Model*) adalah salah satu metode pendekatan yang bisa dipakai untuk memodelkan relief permukaan bumi dalam bentuk tiga dimensi. Perkembangan dari teknologi SIG dan model permukaan digital saat ini, telah memungkinkan untuk membantu proses analisis dari suatu fenomena hidrologi, yaitu infiltrasi dan limpasan permukaan. Karakteristik dari infiltrasi dan limpasan permukaan akan sangat ditentukan dari relief atau kondisi dari permukaan suatu lahan.

Penggunaan model permukaan digital dalam proses analisis infiltrasi dan limpasan permukaan, merupakan langkah yang tepat dalam merepresentasikan

permukaan relief bumi untuk membantu ketelitian dalam mengidentifikasi kemiringan lahan, arah aliran dan penentuan daerah aliran.

Terdapat beberapa metode untuk mempresentasikan bentuk permukaan bumi menggunakan DEM, diantaranya yaitu model *grid*, model *TIN (Triangulated Irregular Network)*, dan *Cellular Automata (CA)*. Model data *grid/raster* menyajikan permukaan bumi dalam matriks atau piksel - piksel kecil berbentuk bujur sangkar yang mewakili luasan sebenarnya pada permukaan bumi. Setiap piksel dalam model ini memiliki atribut ketinggian (elevasi) masing - masing. *TIN* menyajikan model permukaan sebagai sekumpulan bidang - bidang kecil (*facet*) berbentuk segi tiga yang saling berhubungan dari titik - titik yang memiliki atribut koordinat horizontal (x,y) dan koordinat vertikal (elevasi). Sedangkan *Cellular Automata (CA)* menyajikan dalam bentuk segitiga, segiempat, atau segienam beraturan.

Secara skematik bentuk dari berbagai model permukaan *digital* dapat digambarkan seperti dibawah ini :



Gambar 2.29 Tipe model Digital Elevation Model (DEM)

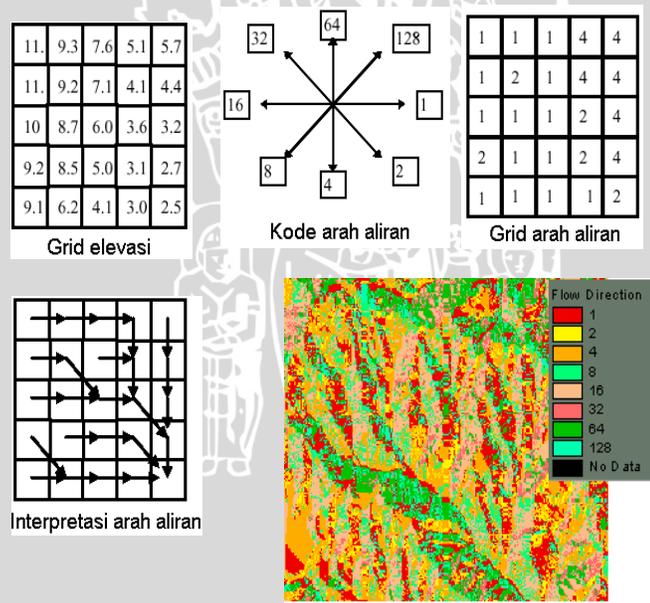
Sumber : Tarboton, 2000

Dari berbagai metode tersebut yang paling sering digunakan adalah DEM dengan model data *grid/raster*, karena dianggap mudah dalam penggunaannya. Model

data *grid* memiliki sel - sel yang bentuknya beraturan dan luasan yang sama, sehingga memudahkan dalam penerapan rumus atau perhitungan serta analisa lebih lanjut.

❖ **Penentuan Arah Aliran (flow direction)**

Zat cair secara alami akan mengalir dari elevasi yang lebih tinggi ke daerah yang elevasinya lebih rendah. Untuk menentukan arah aliran suatu sel dari DEM ditentukan dengan membandingkan elevasi sel tersebut dengan elevasi 8 (delapan) tetangganya yang bersebelahan. Maka aliran dari sel ini akan mengalir ke arah sel yang memiliki kemiringan relatif paling curam terhadap sel yang akan ditentukan arah alirannya. Dalam SIG, 8 (delapan) arah aliran yang mungkin akan dilewati oleh suatu sel dikodekan dengan angka - angka. Timur (E) = 1, Tenggara (SE) = 2, Selatan (S) = 4, Barat daya (SW) = 8, Barat (W) = 16, Barat laut (NW) = 32, Utara (N) = 64, dan Timur laut (NE) =128. Sebagai contoh, jika arah aliran dari dari suatu sel setelah kemiringan relatif dari 8 sel sebelahnya dibandingkan adalah ke arah kiri (barat), maka arah aliran pada sel tersebut dikodekan dengan angka 16.



Gambar 2.30 Penentuan arah aliran pada grid DEM

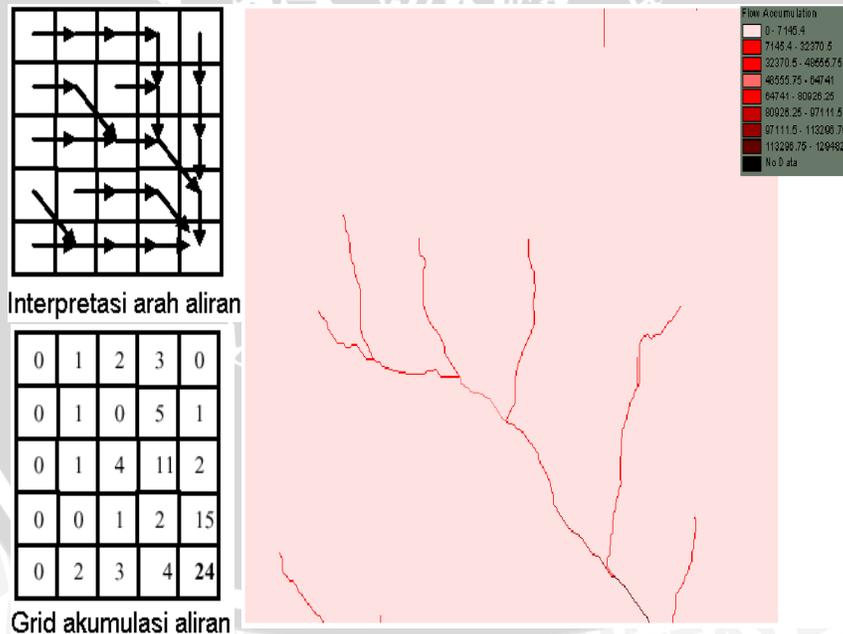
Sumber : Tarboton, 2000

Namun pada kenyataannya terdapat beberapa sel yang tidak dapat didefinisikan arah alirannya karena elevasi delapan sel tetangganya lebih tinggi. Walaupun hal ini bisa saja terjadi secara alami pada permukaan bumi, namun dalam pengolahan DEM dapat dianggap sebagai suatu kesalahan yang disebut sink atau daerah yang mengalami depresi aliran. Air yang mengalir ke arah sel yang mengalami depresi aliran tidak akan

bisa mengalir ke sel berikutnya sehingga menyebabkan jaringan aliran akan terputus dan menyebabkan genangan. Untuk mendapatkan suatu perhitungan yang akurat mengenai arah aliran dan akumulasi aliran, maka terlebih dahulu harus memperbaiki sel - sel yang mengalami depresi aliran dengan menaikkan elevasi sel tersebut sehingga terjadi kemiringan ke arah sel tetangganya. Besarnya kenaikan elevasi ini tergantung dari karakteristik permukaan yang terjadi. Untuk daerah yang bergelombang dengan resolusi 1 meter dapat dinaikan setinggi 0,1 m.

❖ **Akumulasi aliran (Flow accumulation)**

Akumulasi aliran didefinisikan sebagai banyaknya sel yang memberikan kontribusi aliran pada suatu sel berdasarkan grid arah aliran yang telah ditentukan sebelumnya. Penjumlahan akumulasi aliran ini dimulai dari daerah hulu, lalu menelusuri tiap sel satu per satu ke arah hilir berdasarkan grid arah aliran. Sel - sel dengan akumulasi aliran lebih besar Sel dengan akumulasi aliran 0 (tidak ada sel lain yang memberikan kontribusi aliran) merupakan daerah yang topografinya tinggi. Biasanya berupa punggung - punggung bukit yang selanjutnya diidentifikasi sebagai batas DAS. Sedangkan sel - sel dengan jumlah akumulasi aliran tinggi, biasanya mengidentifikasi saluran sungai.



Gambar 2.31 Penentuan akumulasi aliran (flow accumulation)

Sumber : Tarboton, 2000

2.10.5. Pengolahan peta penggunaan lahan

Pada tahap pengolahan peta penggunaan lahan ini, analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Klasifikasi poligon penggunaan lahan; dan
- Pencatatan data dasar peta penggunaan lahan.

Hasil akhir dari tahap analisis ini adalah diperoleh data dasar peta penggunaan lahan untuk tahap pengerjaan model KINEROS selanjutnya, yaitu berupa catatan data karakteristik DAS dan sub DAS berdasarkan jenis penggunaan lahan yang ada di DAS Kali Brantas serta peta penyebaran jenis tanah DAS Kali Brantas.

2.10.6. Pengolahan peta jenis tanah dan pendefinisian tekstur tanah

Pemasukan data yang berhubungan dengan tekstur tanah dan nilai - nilai parameter hidrologi dapat diubah oleh pemakai model KINEROS jika dianggap perlu. Untuk membuat hubungan tersebut, nilai - nilai dari parameter yang berhubungan dengan masing - masing tekstur tanah tersebut disajikan dalam bentuk tabel, yaitu sebagai *look up* tabel untuk menjalankan model KINEROS. Tabel tersebut berisi data propertis tanah untuk masing - masing elemen model.

Setiap satu luasan poligon tekstur tanah, memiliki kandungan beberapa komponen tanah yang berbeda. Komponen tersebut dicatat pada suatu bentuk tabel yang diberi nama *Comp.dbf*. Selanjutnya untuk setiap komponen tersebut memiliki komponen tanah yang berbeda tiap kedalamannya dan dicatat pada suatu bentuk tabel yang dinamakan *Layer.dbf*.

Analisis peta jenis tanah ini, secara umum terdiri dari tahapan pengolahan peta jenis tanah dan pendefinisian tekstur tanah. Perincian tahapan - tahapan tersebut adalah sebagai berikut:

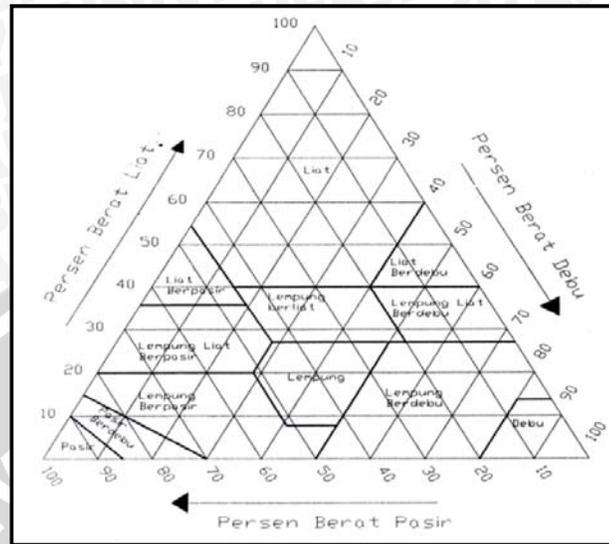
a. Klasifikasi poligon tekstur tanah

Dasar penentuan batas poligon penyebaran tekstur tanah pada lokasi studi, yaitu peta tekstur tanah yang bersumber dari Balai RLKT. Lebih lanjut, pada batas - batas tersebut dilakukan pengidentifikasian ID, dan identifikasi ini dapat disesuaikan dengan keinginan dan kepentingan pemakai model.

b. Pendefinisian tekstur tanah

Sebelum dilakukan pendefinisian tekstur tanah terlebih dahulu dilakukan penentuan propertis penyusun tanah di lokasi studi, sehingga dapat diketahui pola penyebaran tekstur tanah di lokasi studi, baik dalam satuan luasan (horisontal) maupun dalam satuan kedalaman (vertikal). Penentuan propertis penyusun tanah di sini berdasarkan dari data

tekstur tanah yang telah diperoleh dengan menggunakan segitiga tekstur berikut (Gambar 2.32):



Gambar 2.32 Diagram Segitiga Kelas Tekstur Tanah

Sumber : Brady, 1982

Definisi tekstur tanah pada lokasi studi tersebut, dicatat dalam format tabel dbf, diikuti penomoran ID sesuai batas poligon yang dimaksud.

c. Pencatatan data dasar peta tekstur tanah

Setelah dilakukan klasifikasi poligon tekstur tanah dan pendefinisian tekstur tanah, maka kemudian dilakukan pencatatan data dasar peta tekstur tanah yaitu pencatatan data karakteristik DAS dan sub DAS berdasarkan tekstur tanah di lokasi studi dengan berpedoman pada parameter - parameter yang terdapat pada tabel STATSGO.

d. Parameterisasi tekstur tanah dan penutup lahan

Dua proses pencatatan data dasar di atas (penggunaan lahan dan tekstur tanah), secara khusus dalam model KINEROS disebut parameterisasi jenis tanah dan penutup lahan (*landcover*). Parameterisasi tekstur tanah dan penutup lahan di sini merupakan hasil tumpang susun (*overlay*) dari peta penggunaan lahan dengan peta tekstur tanah hasil dari pencatatan data dasar peta tekstur tanah di atas.

2.10.7. Pengolahan data Hidrologi

Pengolahan data hidrologi merupakan proses yang mendasar dalam model KINEROS. Data masukan parameter hujan yang diperlukan dalam model ini adalah ketinggian hujan (mm) atau intensitas hujan (mm jam^{-1}) selama durasi waktu puncak banjir setiap kala ulang 2, 5, 10, dan 25 tahun seperti yang di jelaskan sebelumnya.

2.10.8. Hasil model KINEROS

Hasil model KINEROS adalah tampilan berupa peta zoning dari parameter yang dikehendaki yaitu infiltrasi (mm), limpasan (mm), hasil sedimentasi (kg/ha), aliran puncak atau *peakflow* (m^3/dt) dan hasil sedimentasi puncak atau *peak sediment discharge* (kg/s), sedangkan hasil keluaran yang dipakai dalam studi ini adalah tinggi limpasan permukaan (mm) untuk tiap - tiap sub das, sehingga dapat diketahui perubahan limpasan permukaan akibat perubahan penggunaan lahan.

