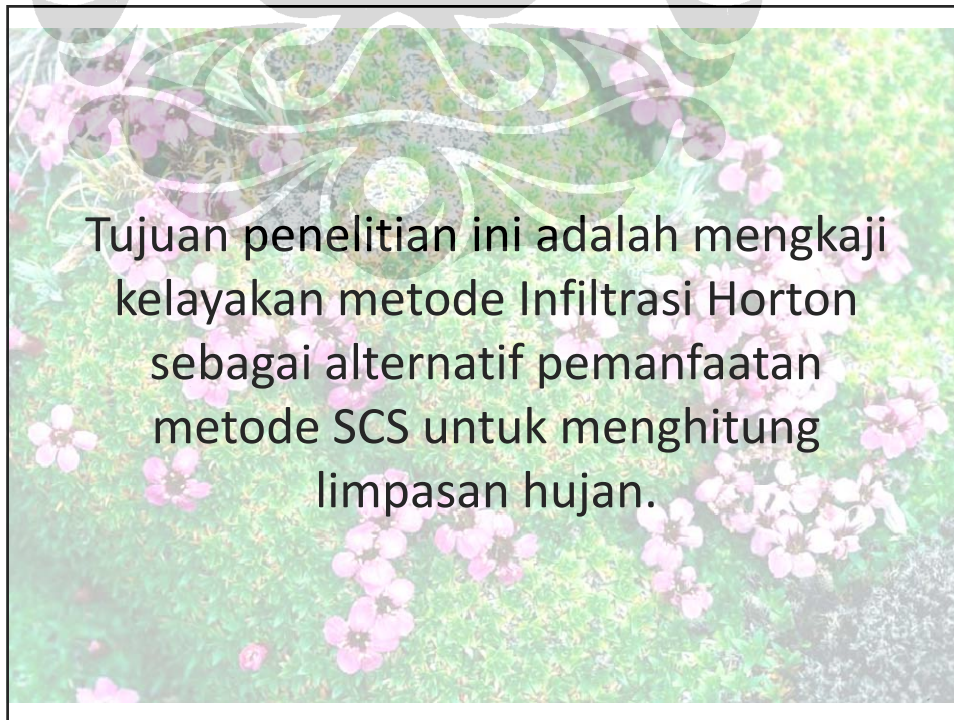




Uji Kelayakan Metode Infiltrasi Horton
sebagai Alternatif Perhitungan Limpasan
Hujan Metode SCS

(Studi Kasus Sub-DAS Sugutamu)

Dwinanti Rika Marthanty
03 Januari 2008



Tujuan penelitian ini adalah mengkaji
kelayakan metode Infiltrasi Horton
sebagai alternatif pemanfaatan
metode SCS untuk menghitung
limpasan hujan.

Metode CN

- Suatu pendekatan empirik untuk mengestimasi limpasan permukaan (*direct runoff*) dari hubungan antara hujan, tata guna lahan, dan kelompok hidrologis tanah (*hydrologic soil groups – HSG*).
- Nilai CN bervariasi antara 25 hingga 98, tergantung pada tata guna lahan, kelompok hidrologis tanah, dan kondisi kelembaban bertingkat (*antecedent moisture condition – AMC*) (USDA – SCS, 1986).

Rasional

- Kenapa CN dipermasalahkan:
Persoalan stormwater / rainwater management → CN dan Tc diperoleh secara empirik
- [Argumen ttg nilai CN:](#)
[Perwakilan karakteristik spesifik untuk wilayah Amerika](#)
- [Di Indonesia bagaimana?](#)
[Sepakat tidak ada → butuh penelitian untuk mencari nilai CN yang cocok di Indonesia salah satunya dengan model persamaan Horton](#)

LID

- Konsep *Low Impact Development* (LID) menggunakan *Curve Number* (CN) dari metode NRCS-SCS di dalam proses analisis dan pendekatan desain untuk menghitung potensi limpasan (*potensial runoff*) pada lahan existing sebelum dikelola dan dibandingkan dengan kondisinya setelah dikelola dengan konsep LID (Manual LID, 1999).

Argumen 1

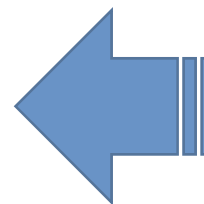
- Penelitian Miller dan Veissman tahun 1972 menunjukkan bahwa prosedur penentuan nilai CN untuk daerah perkotaan perlu dimodifikasi. Hal ini berdasarkan pada asumsi NRCS bahwa tata guna lahan pemukiman memiliki persentasi area kedap air yang rata-rata hasil empiris. Jika persentasi tersebut diubah maka nilai CN akan berubah.

Argumen 2

- CN tidak dapat langsung dipergunakan di tempat lain karena didapat dari percobaan di berbagai DAS di Amerika. Metode limpasan CN dikembangkan oleh USDA-SCS dari percobaan di banyak DAS di Amerika, dan menggunakan hubungan empirik antara abstraksi inisial (*initial abstraction – Ia*) dengan tampungan (*storage - S*) yaitu 20 persen tampungan adalah abstraksi inisial (Kyoung et al., 2006).

Argumen 3

- Penelitian lain oleh Hawkins et al. pada tahun 2002, menyatakan bahwa nilai CN perlu dimodifikasi ketika menggunakan rasio antara abstraksi inisial dan tampungan adalah 5 persen untuk mengestimasi limpasan permukaan.



Model Infiltrasi Horton 1

- Abstraksi initial dapat diestimasi dari observasi lapangan termasuk dengan estimasi infiltrasi atau pengukuran langsung dari besaran lain yang diketahui. Abstraksi inisial dapat diukur bila diketahui volume hujan, limpasan dan infiltrasi (Wanielista, 1997). Beaver (1977) menemukan bahwa dengan menggunakan infiltrometer, infiltrasi dapat direpresentasikan oleh persamaan Horton (1939, 1940).

Model Infiltrasi Horton 2

- Metode ini memberikan ekspresi persamaan infiltrasi terhadap fungsi waktu sehingga bisa dihitung volume infiltrasi terhadap volume total hujan. Permeabilitas dan laju infiltrasi tanah akan berfluktuasi terhadap waktu dan lokasi sehingga diperlukan percobaan di laboratorium dan lapangan untuk menentukannya (Wanielista, 1997).

Metodologi Penelitian

- Percobaan infiltrometer di lapangan → persamaan infiltrasi Horton.
- Penentuan lokasi titik pengukuran infiltrasi (di Sub-DAS Sugutamu)
- Pengolahan data sebaran hujan
- Perhitungan Ekses hujan (limpasan langsung)
- Grafik hubungan hujan dengan limpasan
- Analisa perbandingan nomogram SCS (1955) vs CN lapangan
- Batasan-batasan yang dibahas di dalam penelitian ini:
 - titik pengamatan ada 10 (sepuluh),
 - waktu pengukuran dilakukan sekali pada bulan Oktober – November 2007 (asumsi musim kemarau)
 - data sebaran hujan 2003 – 2007 Stasiun hujan otomatis FTUI

Manfaat Penelitian

- membuat suatu panduan atau prosedur penentuan nilai CN cara Infiltrasi Horton sebagai alternatif metode SCS untuk karakteristik wilayah di Indonesia.
- dapat digunakan untuk memprediksi atau mendesain debit banjir lebih akurat

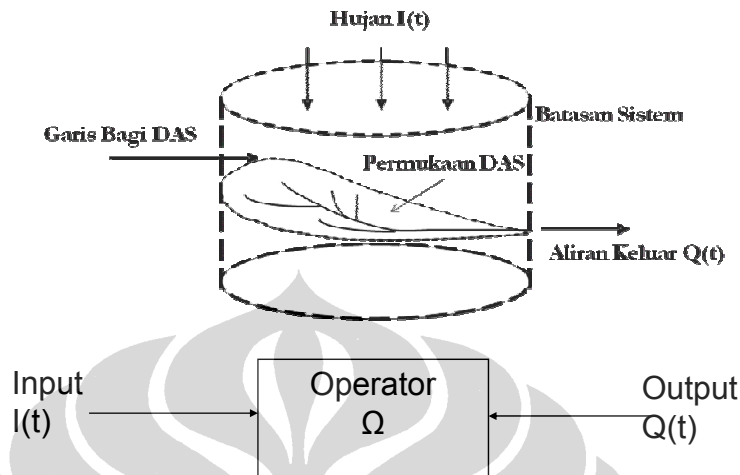
Dasar Teori

- [Teori hubungan hujan-limpasan \(Ven Te Chow, 1988\)](#)
- [Operator omega \(Maidment, 1993\)](#):
 - [Metode SCS \(USDA, 1964\)](#)
 - [Model Horton \(Horton, 1939, 1940\)](#)
- Rainwater Management (Canada, 2003)
- Low Impact Development (Maryland, US, 1999)

Ekses Hujan (Chow, 1988)

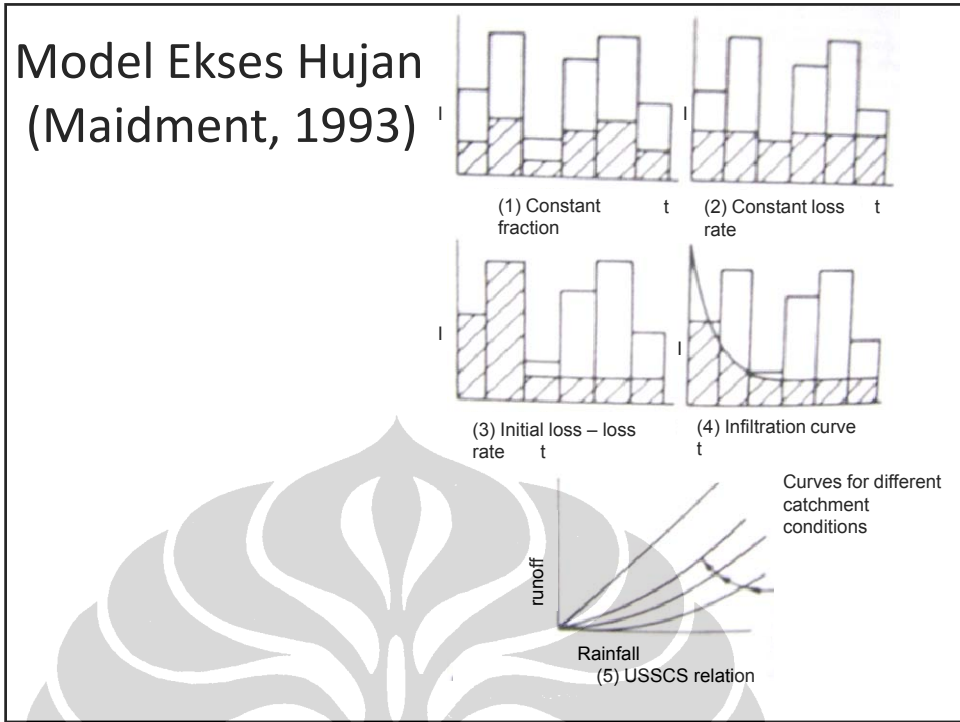
- Hujan efektif (*excess rainfall*) adalah hujan yang tidak tertahan pada permukaan lahan ataupun terserap ke dalam tanah. Setelah mengalir melintasi permukaan DAS, hujan efektif menjadi limpasan langsung (*direct runoff*) di outlet DAS dengan anggapan limpasan tersebut adalah aliran permukaan Hortonian (*Hortonian Overland Flow*) (Ven Te Chow, 1988).

Sistem Hidrologi & Operator Omega



Model Ekses Hujan (Maidment, 1993)

- **Loss (and conversely runoff)** is a constant fraction of rainfall in each time period, or if the storm has constant rainfall intensity, a simple proportion of the total rainfall. This is the runoff coefficient concept one of which is well known as rational method.
- **Constant loss rate** where the rainfall excess is the residual after a selected constant loss rate or infiltration capacity is satisfied.
- **Initial loss and continuing constant rate**, which is similar to model 2 except that no runoff occurs until a given initial loss capacity has been satisfied, regardless of the rainfall rate. A variation of this model is to have an initial loss followed by a loss consisting of a constant fraction of the rainfall in the remaining time periods.
- **Infiltration curve or equation representing capacity rates of loss decreasing with time**. This may be an empirical curve or a physical based model such as the Green and Ampt equation, Horton equation.
- **Standard rainfall-runoff relation**, such as the U.S. Soil Conservation Service relation.



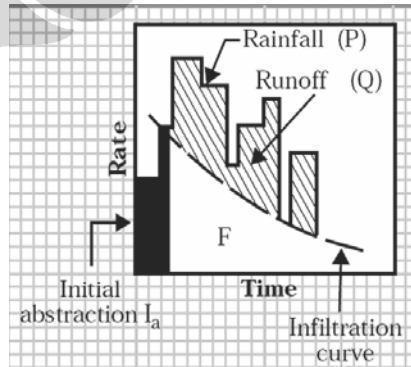
Metode SCS (USDA-SCS, 1964)

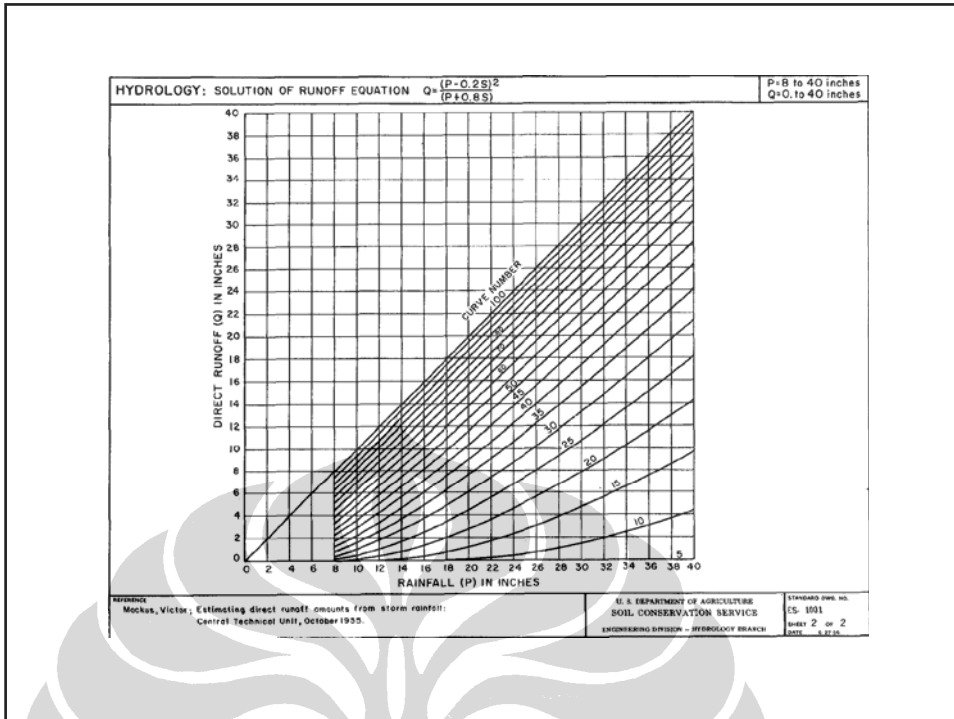
$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}$$

$$I_a = 0,2S$$

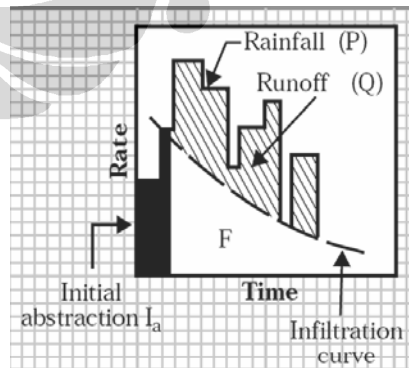
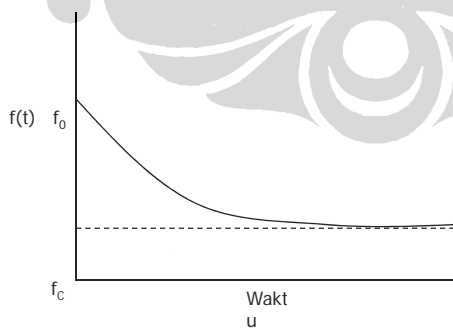
$$Q = \frac{(P_2 - 0,2S)^2}{P_2 + 0,8S}$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$



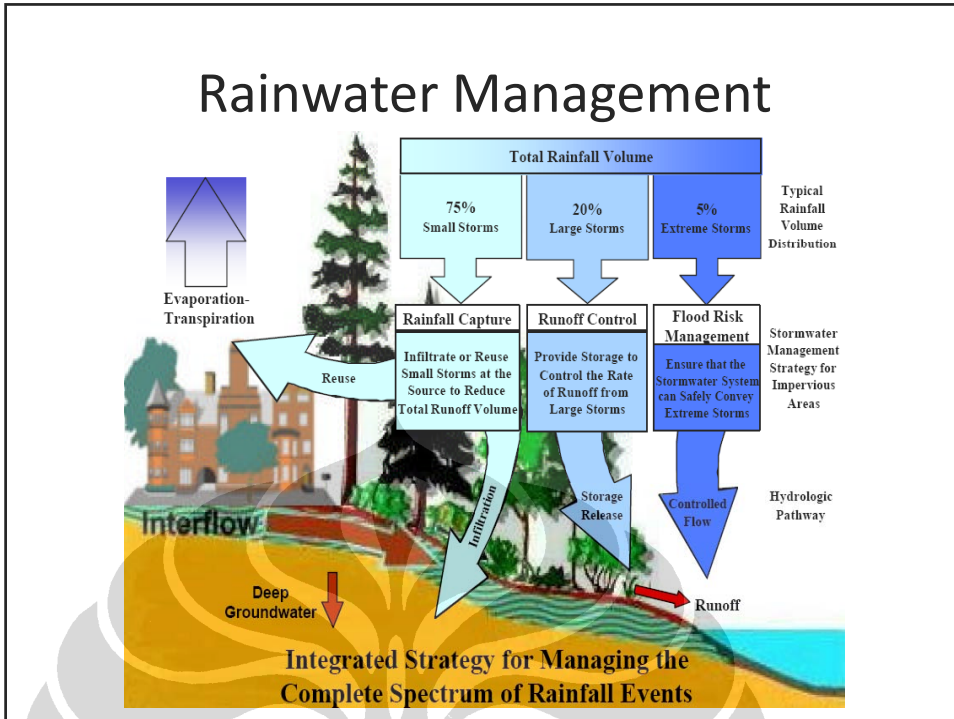


Model Horton



$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}$$

$$F = \int_0^t f(t) dt = f_c t + \frac{(f_0 - f_c)}{k} (1 - e^{-kt})$$



Low Impact Development (LID, 1999)

Conventional CN for 1-Acre Lot (Table 2.2a TR-55) N.T.S.

Typical Low-Impact Development Lot N.T.S.

Komponen Desain dan Analisa Low-Impact Development	Kemiringan lebih datar	Kemakanflow path	Kemakambeset flow	Kemakan kekasaran permukaan	Minimalisasi gangguan (disturbance)	Kemiringan lebih datar pada area	Infiltrasi swales	Vegetative filter strips	Constricted pipes	Disconnected impervious area	Reduce curb and gutter	Tong Hujan	Tampung air di atap (rooftop storage)	Beretensi	Revegetasi	Pemildungan/pelaksanaan vegetasi
CN pasca-pembangunan yang lebih rendah	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Kenaikan Tc	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Retensi/Delensi	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Percobaan Lapangan

Kelas Hujan BMG	Frekuensi	
	absolut	%
Sangat Ringan <5 mm	213	41.85
Ringan 5 - 20 mm	197	38.7
Sedang 21 - 50 mm	64	12.57
Lebat 51 - 100 mm	31	6.09
Sangat lebat >100 mm	4	0.786
total data	509	100

Peta Geologi, Potensi Air Tanah, dan Titik Survey pada DAS Sugutamu



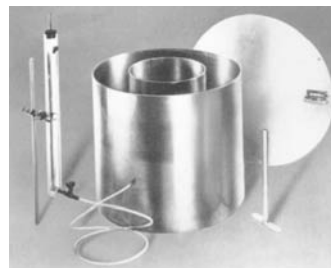
Legenda Gabungan
 Potensi Air Tanah Tinggi
 Potensi Air Tanah Sedang
 Potensi Air Tanah Rendah
 Kipas Aluvium
 Aluvium
 Formasi Serpong
 Titik Survey

Infiltrometer

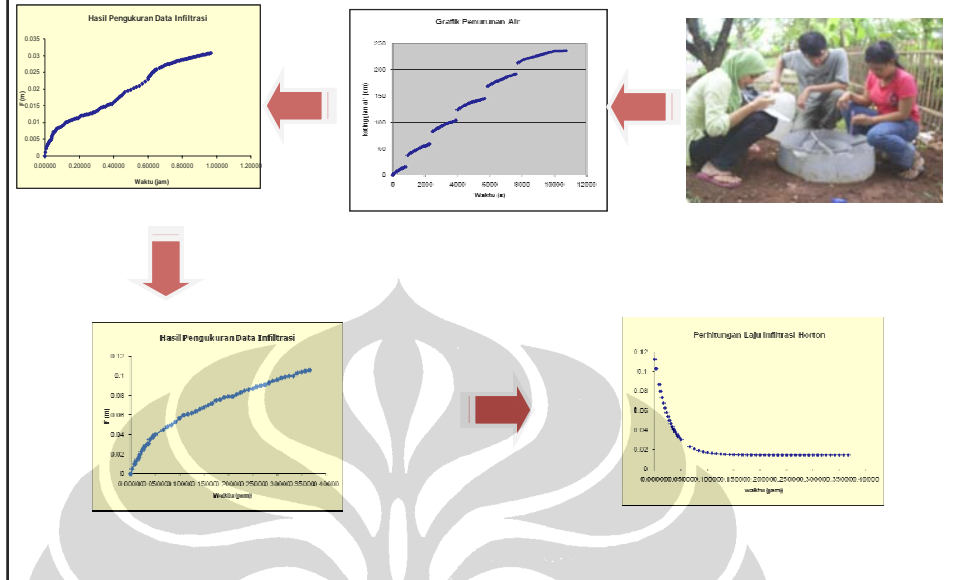


Spesifikasi (ASTM, AASHTO):

- Diameter ring dalam 12 in
- Diameter ring luar 24 in
- Tebal pelat 1 – 2 mm



Contoh Hasil Pengukuran



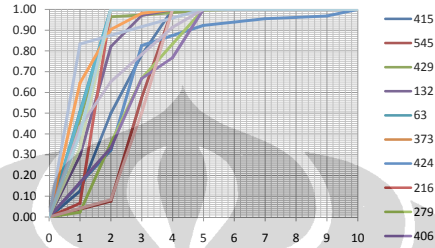
Parameter Persamaan Infiltrasi Horton di Lokasi Percobaan

No. Trik	Lokasi Pengamatan	f_0 (cm/jam)	f_c (cm/jam)	k (/jam)
1	Pemukiman, Jl. Jelutung	4.1010	0.0019	4.0017
2	Tegalan, Depok II Tengah (Jl. Proklamasi)	8.9636	3.3310	8.0997
3	Lahan Terbuka, Depok II Tengah (Jl. Proklamasi)	26.4122	7.2104	5.9498
4	Pemukiman, Depok II Tengah (Jl. Seruling Raya)	65.7653	2.6834	1.4775
5	Lahan Terbuka, Depok II Tengah (Jl. Seruling 6)	13.1264	4.3642	15.0605
6	Pemukiman, Mutiara Depok	5.1768	2.4486	0.9472
7	Kebun, Pabuaran	2.7725	1.0586	2.6974
8	Tegalan, Pabuaran	38.1584	0.1000	1.8198
9	Pemukiman, Pabuaran	5.5212	0.4161	3.2906
10	Pemukiman, Cikaret	11.2323	1.4489	36.5421

Peristiwa Hujan Pilihan dari Sta. FTUI (Jan 2004 – Nov 2007)

No Hujan	jam										Jumlah
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
415	20	60	45	35.2							160.2
545	5	5	65	56							131
429	60	62.5	1	1.5	1.5	0.5					127
63	19.8	35.2	10	2							67
373	34	33									
428	10	57									
424	5	5	15.6								
216	2	28									
279	0.7	10	9.3								
406	5	5	10								
418	15	15									
7	10	4	1.2								
277	10	0.5	0.5								
393	0.5	0.5	5								
395	4	8									

Sebaran Hujan Sta. FTUI



Perhitungan Ekses Hujan

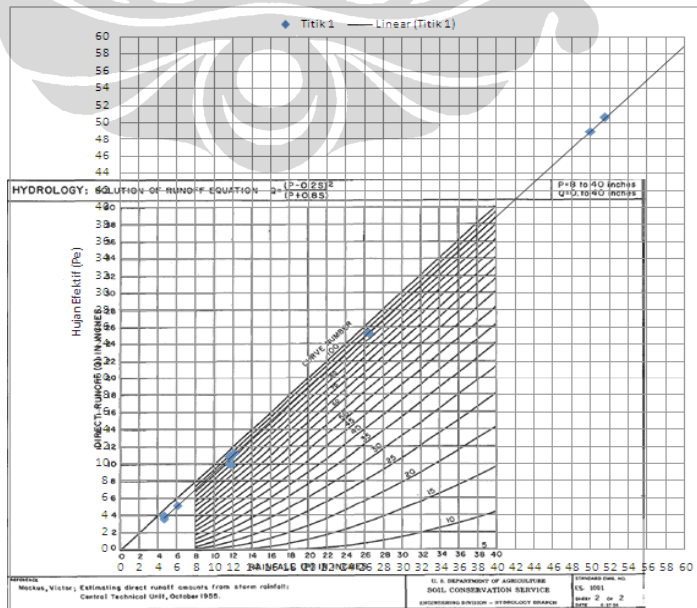
$I = \sum_{j=1}^n P_j \left[1 - \exp\left(-\frac{2.25 P_j}{P} \left(\frac{P}{P_j} - 1 \right) \left(\frac{P}{P_j} + 1 \right) \right) \right]$
 $f = \sum_{j=1}^n P_j \left[1 - \exp\left(-\frac{2.25 P_j}{P} \left(\frac{P}{P_j} - 1 \right) \left(\frac{P}{P_j} + 1 \right) \right) \right]$

Titik 1								
			x		y			
no	cm P	cm P	cm Pe	cm Pe	cm Pe initial	sq error	cm S	CN
12	7	31	12.20472	28.39	11.18	28.39	0.00	2.30924
								91.66617

Nilai CN Percobaan

No. Titik	Lokasi Pengamatan	CN rerata
1	Pemukiman, Jl. Jelutung	91.16
2	Tegalan, Depok II Tengah (Jl. Proklamasi)	66.82
3	Lahan Terbuka, Depok II Tengah (Jl. Proklamasi)	36.15
4	Pemukiman, Depok II Tengah (Jl. Seruling Raya)	16.66
5	Lahan Terbuka, Depok II Tengah (Jl. Seruling 6)	55.91
6	Pemukiman, Mutiara Depok	65.11
7	Kebun, Pabuaran	84.06
8	Tegalan, Pabuaran	25.56
9	Pemukiman, Pabuaran	84.12
10	Pemukiman, Cikaret	84.57

Distribusi Nilai CN Titik 1 (CN rata = 91, 16)



Analisis Titik 1

- Di titik 1, lokasi pengamatan di hilir sub-DAS, tata guna lahan adalah pemukiman, geologi tanah termasuk formasi serpong, potensi muka air tanah sedang, jenis tanah secara umum liat 70 – 90 persen dan pasir 0 – 20 persen, termasuk batupasir, konglomerat batulanau dan batulempung dengan sisa tanaman, konglomerat batuapung dan tuf batuapung. (Sub-Balai RLKT Ciliwung - Ciujung, 1994). Secara teoritis berdasarkan HSG, titik 1 termasuk kelompok D yang memiliki laju infiltrasi antara 0 – 0.127 cm/jam untuk jenis tanah liat (*heavy plastic clay*). Hasil percobaan didapat laju infiltrasi (f_c) adalah 0,0019 cm/jam untuk kedalaman 20 cm dari permukaan tanah, dan ini sesuai dengan jenis tanahnya. Nilai CN rata-rata di titik 1 untuk 15 sebaran intensitas hujan dalam jam adalah 91,16. Berdasarkan penelitian USDA – SCS (1972), nilai CN 91 termasuk lahan lulus air di daerah perkotaan untuk tata guna lahan taman atau tanaman pendek (*low crops*). Ini sesuai dengan deskripsi lapangan titik 1.

Kesimpulan

- Secara umum, berdasarkan kelompok tanah hidrologis (HSG) Sub-DAS Sugutamu adalah **berpotensi rendah limpasan langsung** karena laju infiltrasi tanah yang tinggi ($> 1, 147$ cm/jam) yaitu rata-rata 2,306 cm/jam.
- Hasil uji kelayakan model infiltrasi Horton terhadap metode SCS untuk menghitung limpasan langsung dari hujan, jenis tanah, potensi muka tanah dan tata guna lahan menunjukkan bahwa **ada ketidakkonsistenan** nomogram SCS **untuk lokasi 7, 9 dan 10 yaitu kondisi suburban dan pertanian** di mana nilai CN berbeda cukup signifikan seperti yang terlihat dari sebaran data terhadap nomogram.
- Kondisi hidrolika tanah dipengaruhi oleh perlakuan terhadap tanah. **Di lokasi 8, nilai CN rata-rata** yang didapat **sangat kecil**, bila dibandingkan dengan nilai CN nomogram SCS. Tanah yang diamati **sangat gembur** sehingga kapasitas infiltrasi besar. Sedangkan **di lokasi 4**, dianggap ada pengaruh faktor urugan atau bukan tanah asli terhadap pengukuran infiltrasi.
- Kelayakan perhitungan limpasan langsung dengan **model infiltrasi adalah cukup baik (layak)** bila dibandingkan dengan metode SCS. Hasil percobaan **di titik pengamatan 1, 2, 3, 5, dan 6** menunjukkan hasil yang hampir sama antara nomogram SCS dengan model infiltrasi Horton.

Kesimpulan 2

No.	Lokasi	f_c	CN	HSG	CN
Titik	Pengamatan	<i>cm/jam</i>	Lapangan		SCS
1	Pemukiman, Jl. Jelutung	0.0019	91.16	D	91
2	Tegalan, Depok II Tengah (Jl. Proklamasi)	3.3310	66.82	A	68
3	Lahan Terbuka, Depok II Tengah (Jl. Proklamasi)	7.2104	36.15	A	36
4	Pemukiman, Depok II Tengah (Jl. Seruling Raya)	2.6834	16.66	A	77
5	Lahan Terbuka, Depok II Tengah (Jl. Seruling 6)	4.3642	55.91	A	49
6	Pemukiman, Mutiara Depok	2.4486	65.11	A	68
7	Kebun, Pabuaran	1.0586	84.06	A	68
8	Tegalan, Pabuaran	0.1000	25.56	D	73
9	Pemukiman, Pabuaran	0.4161	84.12	B	74
10	Pemukiman, Cikaret	1.4489	84.57	A	74

Saran

- CN yang didapat dari percobaan, masih terbatas pada nilai titik pengamatan. Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya adalah meneliti menentukan nilai CN wilayah atau *complexes curve number* salah satunya dengan metode SCS.
- Pada nomogram SCS, hubungan antara limpasan langsung (ekses hujan) dan total hujan dihitung dari persamaan infiltrasi. Hubungan antara hasil perhitungan dengan hasil aktual perlu dilakukan untuk mengetahui keakuratan dari hasil perhitungan. Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya adalah mengamati debit limpasan langsung di lapangan untuk dibandingkan dengan hasil perhitungan teoritis, serta karakteristik waktu konsentrasi untuk memprediksi volume banjir hasil perhitungan.