

Januari 2024



Analisis Hidrologi

OLEH

Moh. Masduki
Hardjosuprpto

DITULIS ULANG OLEH

Eka Wardhani





KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-NYA sehingga kami dapat menyelesaikan penulisan ulang Buku Analisis Hidrologi. Buku ini merupakan karya monumental dari Bapak Almarhum Moh Masduki Hardjosuprpto yang telah diselesaikan pada Tahun 1998. Buku ini sangat bergua dalam pengembangan ilmu Hidrologi sehingga warisan yang sangat berharga ini harus di wariskan kepada generasi mendatang. Pada buku ini telah dilakukan penyempurnaan dengan tujuan untuk lebih memudahkan mahasiswa dalam memahami proses analisis hidrologi.

Kami mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu dalam penulisan ulang Buku Analisis Hidrologi ini. Semoga buku ini bermanfaat dan menjadi amal jariyah yang tidak terputus khususnya untuk Bapak Moh Masduki Hardjosuprpto dan penulis yang mencoba menyempurnakan buku ini.

Januari, 2024



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	v
BAB 1 ANALISIS HIDROLOGI	1-1
1.1. CURAH HUJAN	1-1
BAB 2 ANALISIS DATA CURAH HUJAN	2-1
2.1. JARINGAN STASIUN PENGAMAT CURAH HUJAN	2-1
2.2. JUMLAH STASIUN PENGAMAT HUJAN	2-2
2.3. PENYIAPAN DATA HUJAN	2-3
2.4. TEST KONSISTENSI DATA HUJAN	2-5
2.5. TEST HOMOGENITAS	2-8
2.6. PERSENTASE DATA HUJAN	2-9
2.7. Mencari Harga Rata-Rata Tinggi Intensitas Hujan (I) Atau Rata-Rata Tinggi Presipitasi (R)	2-11
2.8. ANALISA FREKUENSI NILAI EKSTREM	2-13
2.9. <i>RETURN PERIOD (RECURRENCE INTERVAL)</i>	2-25
BAB 3 DESAIN INTENSITAS HUJAN	3-1
3.1. RENTANG KEYAKINAN (CONFIDENCE INTERVAL) UNTUK HARGA $2 P_T$	3-4
3.2. METODA LOG-PEARSON TYPE III	3-7
3.3. METODA IWAI	3-14
3.4. POLA DISTRIBUSI CURAH HUJAN PADA DURSI 60 MENIT	3-18
BAB 4 ANALISA INTENSITAS CURAH HUJAN	4-1
4.1. RUMUS BELL	4-1
4.2. RUMUS HASPER DAN DER WEDUWEN	4-3
4.3. PEMILIHAN RUMUS INTENSITAS HUJAN	4-4
4.4. RUMUS INTENSITAS CURAH HUJAN YANG DIGUNAKAN	4-11
BAB 5 CONTOH SOAL	5-1



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tinggi Curah Hujan di Stasiun Terukur.....	2-3
Tabel 2. 2 Perrhitungan Jumlah Stasiun Pengamat Hujan	2-3
Tabel 2. 3.....	2-14
Tabel 2. 4.....	2-18
Tabel 2. 5.....	2-19
Tabel 2. 6 Hujan Hariam Maksimum (mm/24 jam) Pada Stasiun A Setelah Dikoreksi Dengan $F_k = 0,8924$ Untuk Tahun 1957 S/D 1981.....	2-21
Tabel 2. 7 Hujan Harian Maksimum Siap (HHMS) Untuk di Regresi dari Stasiun A.	2-22
Tabel 2. 8 H.H.M.S. Tahun 1967 s/d Tahun 1986 untuk diregresi dari stasiun A24	
Tabel 2. 9 PUH Untuk Perencanaan Saluran Drainase Kota dan Bangunan- Bangunannya Yang Dianjurkan.....	2-26
Tabel 2. 10 Curah Hujan Harian Maksimum Utnuk Berbagi PUH, Hasil Perhitungan Metode Gumbel	2-3
Tabel 3. 1 <i>Reduced Variate</i> (y_T) Pada PUH T tahun.....	3-2
Tabel 3. 2 <i>Reduced Mean</i> (y_n) dan <i>Reduced Standard Deviation</i> (σ_n)	3-2
Tabel 3. 3 Rentang Keyakinan Harga-Harga R_T	3-6
Tabel 3. 4 Curah Hujan Harian Maksium (Metoda Gumbel, Keyakinan 90%)	3-6
Tabel 3. 5 Perhitungan HHM metoda Log Pearson Type III.....	3-8
Tabel 3. 6 Tabel nilai K untuk Distribusi Log Pearson (Positif Skew Koefesien) .	10
Tabel 3. 7 Tabel nilai K untuk Distribusi Log Pearson (Negatif Skew Koefesien)	10
Tabel 3. 8 Curah Hujan Harian Maksimum Rencana (Log Pearson Type III)	3-13
Tabel 3. 9 Perbandingan Harga HHM Metoda Gumbel dan Log Pearson Type III	3-14
Tabel 3. 10 Variabel Normal δ yang sesuai dengan $W(x)$ Utama	3-15
Tabel 3. 11 Mencari Harga $\bar{X}_0$ dan $\bar{X}^2$	3-16
Tabel 3. 12 Perhitungan b	3-17
Tabel 3. 13 Perhitungan Curah Hujan Harian Yang Mungkin.....	3-17
Tabel 3. 14 HHM Gumbel, Log Pearson Type III dan Iwai.....	3-18

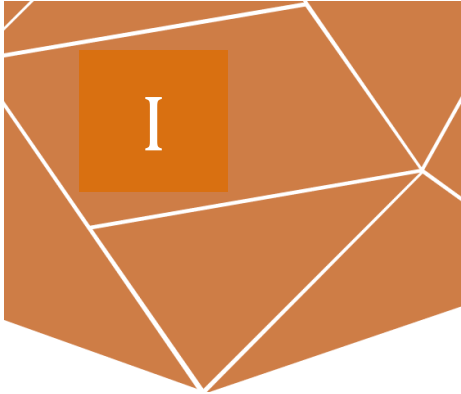


Tabel 3. 15 Curah Hujan Harian Maksimum (HHM) Dari Perhitungan Metoda Gumbel Yang Dipakai Untuk Perencanaan Saluran Drainase Kota..	3-18
Tabel 3. 16 Pedoman Pola Hujan Tiap Jam Menurut Tanimoto.....	3-19
Tabel 3. 17 Pada Distribusi HHM Perjam Menurut Rangkin I s/d Ke 4.	3-19
Tabel 4. 1 Intensitas Hujan Menurut Rumus Bell	4-2
Tabel 4. 2 Intensitas Hujan Untuk Kota Jakarta	4-3
Tabel 4. 3 Intensitas Hujan Berdasarkan Metoda Van Breen	4-3
Tabel 4. 4 Intensitas Hujan Menurut Metooda Hasper dan Der Weduwen	4-4
Tabel 4. 5 Perhitungan 3 Jenis Persamaan Intensitas Hujan Dengan PUH = 2 Tahun Dari Rumus Bell.....	4-7
Tabel 4. 6 Perhitungan 3 Jenis Persamaan Intensitas Hujan Dengan PUH = 5 Tahun Dari Rumus Van Breen	4-8
Tabel 4. 7 Mencari Delta Terkecil Dari Ketiga Jenis Persamaan.....	4-9
Tabel 4. 8 Mencari Delta Terkecil Dari Ketiga Jenis Persamaan.....	4-10
Tabel 4. 9 Pemindahan Persamaan Yang Cocok dari Rumus Bell, Van Breen dan Hasper der Wedumen Berbentuk Persamaan Yang Sederhana	4-15



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Test Konsistensi Data Hujan Stasiun A	2-7
Gambar 2. 2 Homogeneity Test Graph	2-9
Gambar 2. 3 Kurva Massa Hujan Harian	2-10
Gambar 2. 4 Poligon Thiessen.....	2-12
Gambar 2. 5 Isohyet	2-12
Gambar 2. 6 Grafik Gumbel's Probability Paper	2-23
Gambar 2. 7 Plot	2-24
Gambar 4. 1 Grafik Intensitas (Rumus Bell)	4-16
Gambar 4. 2 Grafik Intensitas (Rumus Van Breen)	4-17
Gambar 4. 3 Grafik Intensitas (Rumus Hasper Der Wedumen)	4-18
Gambar 5. 1 Soal Drainase.....	5-3



BAB 1 ANALISIS HIDROLOGI

1.1. CURAH HUJAN

Data curah hujan di Indonesia dikumpulkan oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika dan Departemen Perhubungan.

Dalam perencanaan Drainase Perkotaan, penggunaan data curah hujan berupa:

- Perhitungan dimensi saluran, baik yang tertutup maupun yang terbuka, dengan atau tanpa lining.
- Perhitungan dimensi bangunan-bangunan saluran lintasan (gorong-gorong atau sipon)
- Perhitungan bentang jembatan-jembatan
- Perhitungan waduk pengendali banjir Mikro dan Makro

Semua perhitungan berdasarkan *Desaign Criteria* perencanaan optimal.

Proses perhitungan berdasarkan analisis Hidrologi yang meliputi analisa data curah hujan serta perhitungan debit aliran. Debit aliran yang telah diketahui, kemudian penetapan dimensi saluran dan bangunan-bangunannya berdasarkan rumus-rumus hidrolika. Analisis curah hujan memproses data curah hujan mentah, diolah menjadi data yang siap dipakai untuk perhitungan debit aliran.

Data curah hujan yang akan di analisis berupa kumpulan data atau *array* data "**TINGGI HUJAN HARIAN MAKSIMUM DALAM SETAHUN**", selama paling sedikit (ideal) 30 tahun pengamatan berturut-turut, dinyatakan dalam mm/24



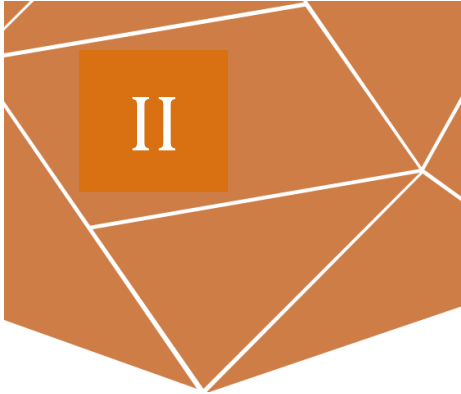
jam. Dalam hal tertentu dan praktis adalah selama 20 tahun. *Array* data tersebut terdiri dari angka-angka yang satu sama lain tidak saling tergantung atau **"RANDOM VARIABLE"**.

Angka-angka di atas merupakan data curah hujan mentah, harus diolah menjadi **"EXTREME RAINFALL"**, dinyatakan dalam mm/24 jam. *Extreme rainfall* sebetulnya adalah angka perkiraan tinggi hujan harian maksimum yang dianggap terjadi satu kali dalam Periode Ulang Hujan (PUH) atau *Return Period of Rainfall* yang telah direncanakan. Oleh karena dari sifat kumpulan data di atas adalah *random variable*, maka untuk proses pengolahannya dipergunakan analisis regresi dengan metoda statistik.

Masalah yang perlu diketahui adalah penentuan areal hujan, dimana titik tengahnya, dan dimana titik batasnya atau tepinya. Pada titik tengah massa hujan, umumnya mempunyai curah hujan tertinggi, sedangkan tepiannya mempunyai curah hujan terendah. Untuk itu maka dalam perhitungan praktis, tinggi curah hujan pada massa hujan tersebut dianggap merata. Hal ini memungkinkan terdapatnya kesalahan-kesalahan dalam analisis Hidrologi. Sedangkan tinggi curah hujan setiap saat tidak sama, tergantung PUH, lamanya durasi hujan dan derasness hujan. Analisis data curah hujan untuk penentuan intensitas-frekuensi-durasi, berdasarkan asumsi sebagai berikut:

- i. Diketahui durasinya, curah hujan terlebat setiap tahun di *record*/rekam untuk data curah hujan mentah, yaitu **"TINGGI HUJAN HARIAN MAKSIMUM"**, dianalisa dengan metode statistik seri bebas.
- ii. Untuk durasi antar 6 menit dan 72 jam, setiap seri adalah distribusi LOG-NORMAL.
- iii. Periode observasi data paling sedikit 30 tahun pendataan adalah ideal (Dalam praktek diperbolehkan 20 tahun)
- iv. Data hujan mentah perlu dilengkapi jika tidak bersinambungan dalam tahun-tahun pendataan, dengan paling sedikit 2 stasiun pendataan curah hujan yang berdekatan sebagai data pembanding.
- v. Data-data curah hujan yang tidak konsisten, perlu dikoreksi dengan faktor konsistensinya.
- vi. Data curah hujan dalam *array* harus homogen.





BAB 2 ANALISIS DATA CURAH HUJAN

Hal-hal yang mencakup kepentingan analisis secara garis besar adalah sebagai berikut:

2.1. JARINGAN STASIUN PENGAMAT CURAH HUJAN

Jika jumlah stasiun pengamat curah hujan sedikit dibanding dengan wilayah penyebarannya hujan yang sangat luas, maka akan sering didapat kesalahan yang agak serius. Sebaiknya wilayah satu stasiun pengamat hujan sekecil mungkin, namun tergantung dana yang tersedia, topografi, kemudahan untuk mencapai satu stasiun ke stasiun lain, dan sebagainya. Jadi ketelitian informasi/data curah hujan yang diperoleh tergantung kerapatan stasiun pengamat hujan. Menurut WORLD METEOROLOGICAL ORGANISATION (WMO), dianjurkan mempunyai kerapatan:

1. Daerah datar beriklim sedang, mediterranean dan daerah tropis:
 Ideal = 1 Stasiun untuk (600-900) km²
 Praktis = 1 Stasiun untuk (900-3.000) km²
2. Daerah pegunungan beriklim sedang, mediterranean dan daerah tropis:
 Ideal = 1 Stasiun untuk (100-250) km²
 Praktis = 1 Stasiun untuk (250-1.000) km² dan
3. Daerah kering dan daerah kutub:
 1 Stasiun untuk (1.500-1.0000) km² dan tergantung kelayakannya.



Sepuluh persen stasiun pengamat curah hujan perlu dibangun dengan “*SELF-RECORDING GAUGES*” untuk mengetahui intensitas curah hujan.

2.2. JUMLAH STASIUN PENGAMAT HUJAN

Jumlah stasiun pengamat curah hujan yang optimal yang harus ada akan memberikan kemungkinan persentasi kesalahan dalam memperkirakan tinggi curah hujan rata-rata seperti yang dinyatakan dalam persamaan 2.1 sebagai berikut:

$$N = \left(\frac{C_v}{E}\right)^2 \quad (2.1)$$

Dimana:

- N = jumlah optimal stasiun pengamat hujan.
E = tingkatan kesalahan yang di izinkan dalam estimasi tinggi hujan p rata-rata
C_v = Koefesien variasi tinggi hujan pada m stasiun (dalam persen)

Dalam m stasiun didapat:

R₁, R₂..... R_m = variasi tinggi hujan.

$$C_v = \frac{100 \times \sqrt{m} - 1}{R} (\%) \quad (2.2)$$

Dimana: $\sqrt{m} - 1$ = standard deviasi:

$$m - 1 = \sqrt{\frac{(\sum_1^m Ri^2) - (\sum_1^m Ri)^2}{m - 1}} \quad (2.3)$$

Dimana R_i = tinggi presipitasi dalam stasiun No.1 (mm/tahun)

R = $\frac{1}{m} (\sum_1^m Ri)$ = tinggi rata-rata presipitasi (mm/tahun)

Perhitungan N dari persamaan (1.1), biasanya diambil harga E = 10%.

Contoh soal:

Diketahui suatu DAS mempunyai 6 stasiun pengamat hujan A,B,C,D,E, dan F dalam 1 tahun, tinggi hujan tahunannya diukur dengan data disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Tinggi Curah Hujan di Stasiun Terukur

Stasiun	A	B	C	D	E	F
Tinggi Hujan (mm/24 jam)	826	1029	1803	1103	988	1367

Hitunglah jumlah optimum stasiun pengukur hujan pada DAS tersebut, jika dalam memperkirakan tinggi hujan rata-ratanya, diharapkan kesalahannya hanya: $E = 10\%$

Jawab:

Banyaknya stasiun: $m = 6$

Tinggi hujan rata-rata $R = \frac{1}{6} (826 + 1.029 + 1.083 + 1.103 + 988 + 1.367) = 1.186 \text{ mm}$

Perhitungan jumlah stasiun pengamat hujan menggunakan persamaan 2.1 dengan uraian yang disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Perhitungan Jumlah Stasiun Pengamat Hujan

Nama Stasiun	$R_i \text{ (mm)}$	R_i^2	$(\sum_{i=1}^6 R_i)^2 = 7.116^2 = 50.637.456$
A	826	682.276	$(m - 1) = \sqrt{\frac{9.053.368 - \frac{50.637.456}{6}}{6 - 1}} = 350,37$
B	1.209	1.058.841	
C	1.803	3.250.809	
D	1.103	1.216.609	
E	988	976.144	
F	1.367	1.868.689	
	7.116	9.053.368	
$M = 6$	$\sum_{i=1}^6 R_i$	$\sum_{i=1}^6 (R_i^2)$	
$Cv = \frac{100 \times (m-1)}{R} = \frac{100 \times 350,37}{1.186} = 29,54$			
$N = \left(\frac{Cv}{E}\right)^2 = \left(\frac{29,54}{10}\right)^2 = 8,73609 \sim 9$			

Berdasarkan hasil perhitungan jumlah optimal stasiun pengukur hujan adalah $N = 9$ buah, sehingga perlu tambahan 3 stasiun lagi.

2.3. PENYIAPAN DATA HUJAN

Sebelum menggunakan data hujan dari masing-masing stasiun perlu di cek kontinuitasnya, mungkin ada data yang hilang akibat perpindahan atau rusaknya alat ukur hujan. Data yang hilang dapat diperkirakan dengan menggunakan data stasiun tetangganya.



Dalam hal ini dipakai “HARGA NORMAL TINGGI HUJAN” sebagai standar perbandingan. Tinggi hujan normal adalah harga rata-rata tinggi hujan harian, bulanan, tahunan selama periode pengamatan 30 tahun. Jadi istilah “TINGGI HUJAN TAHUNAN NORMAL” pada stasiun A, berarti harga rata-rata presipitasi tahunan stasiun A berdasarkan pengamatan khusus selama 30 tahun.

MELENGKAPI DATA YANG HILANG

Untuk melengkapi data, dapat diadakan perkiraan. Sebagai dasar perkiraan data hujan dari stasiun pengukuran terdekat. Jika selisih antara tinggi-tinggi hujan normal dari tempat pengukuran yang datanya kurang lengkap dibanding dengan tinggi-tinggi hujan tahunan normal dari tempat/stasiun pengukuran yang terdekat itu kurang dari 10%, maka harga perkiraan hitung dari data tepat stasiun pembanding, atau lebih dari dua stasiun yang diperbandingkan. Jika selisih melebihi 10% digunakan cara pembanding normal, dengan rumus disajikan pada persamaan 1.4.

$$\frac{r_x}{R_x} = \frac{1}{n-1} \sum_{n=1}^{n=x} \frac{r_x}{R_x}$$

Dalam persamaan berlaku Ruas Kanan tanpa bilangan $n = x$ atau suku $\frac{r_{n=x}}{R_{n=x}}$ tidak ada.

Dimana:

- r_x = harga tinggi curah hujan yang dicari
- R_x = harga rata-rata tinggi curah hujan pada stasiun pengukur hujan yang salah satu tinggi curah hujan nya sedang dicari
- N = banyaknya stasiun pengukur hujan untuk perhitungan 2.
- r_n = harga tinggi curah hujan pada tahun yang sama dengan r_n pada setiap stasiun pembanding.
- R_n = harga rata-rata tinggi curah hujan pada setiap stasiun pembanding selama kurun waktu yang sama
- X = menunjukkan stasiun pengukur hujan yang datanya sedang dicari dan merupakan bilangan 1 s/d n

Note:



1. Dianjurkan banyaknya stasiun pengukur tinggi hujan yang dipakai untuk perhitungan-perbandingan adalah minimum 3.
2. Jika mungkin (ada), data tinggi hujan pada stasiun pembanding, selama kurun waktu tersebut diatas adalah LENGKAP
3. Data yang kuran, maksimum 20% selama kurun waktu pendataan.

2.4. TEST KONSISTENSI DATA HUJAN

Data-data hujang yang dipakai untuk keperluan perencanaan drainase adalah data hujan harian maskimum dan memenuhi persyaratan:

1. Kuantitas dan
2. Kualitas.

Hal ini diperlukan agar dapat diharapkan hasil analisis yang mendekati kenyataan, sehingga jika mempunyai kesalahan-kesalahan masih dalam batas toleransi yangizinkan. Adapun persyaratan-persyaratannya adalah sebagai berikut:

A. Kuantitas

- Jumlah data hujan harian maksimum ($=N$) dari setiap stasiun pengukur hujan $N \geq 30$ data, agar diperoleh tinggi hujan harian maskimum rata-rata yang normal.
- Jumlah stasiun mengukur hujan (SPH) pemberi data $M \geq (6-11)$ SPH.
- Data Hujan kontinu setiap, tahun pendataan, jika ada yang tidak lengkap, perlu dilengkapi.

B. Kualitas

- Data hujan terpakai yang sudah lengkap dari $M \geq 1$ SPH berada dan terdekat serta paling berpengaruh pada daerah aliran saluran (DAS) drainase yang direncanakan atau jika SPH berada diluar DAS, masih berpengaruh terhadap analisa tinggi hujan ($=R= \text{RainFall depth}$) rata-ratanya.
- Ada data-data hujan dari SPH sekitarnya dengan $M \geq (5-10)$ SPH dilur data-data hujan untuk perhitungan drainase (sebagai pembanding).



- Data-data hujan untuk perhitungan drainase harus konsisten. Sebagai control konsistensi adalah dari SPH pembandingan dengan $M \geq (5-10)$ SPH.
- Setelah konsistensi, kemudian perlu di cek ke-homogenitasnya, dengan grafik homogenitas. Jika tidak homogeny, maka dicari *array* data lain yang homogenya.

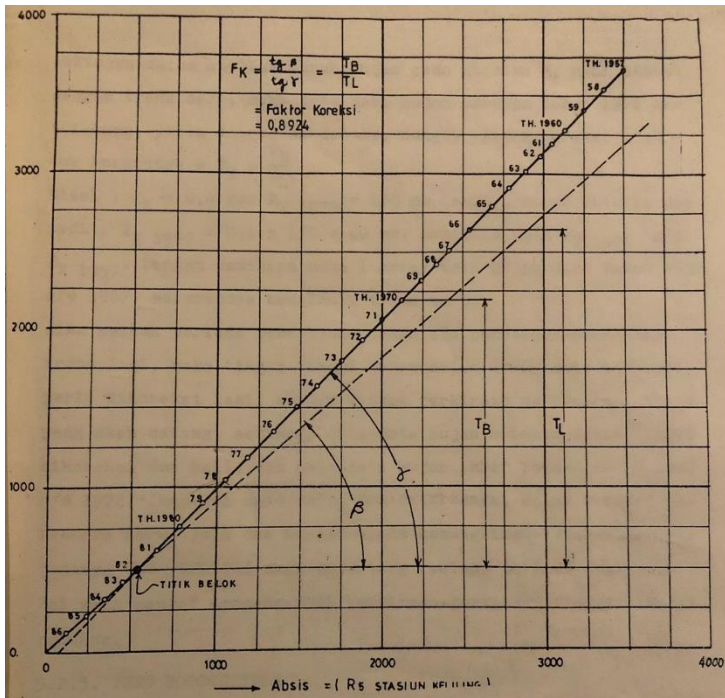
Ketidakkonsistensinya sekumpulan data (*Array Data*) disebabkan oleh perubahan data kecendrungan atau trend, sebagai berikut:

1. Perubahan tata guna lahan pada DAS dan sekitarnya.
Misalnya, DAS hutan diubah menjadi DAS kota. Akibatnya sederetan data hujan pada tahun-tahun sebelum dijadikan daerah perkotaan, mempunyai tinggi-tinggi hujan yang lebih besar dari pada tahun-tahun sesudahnya.
2. Perpindahan tempat/lokasi stasiun pengukur hujan
3. Perubahan ekosistem terhadap iklim, misalnya, kebakaran hutan, tanah longsor.
4. Terdapat kesalahan sistem observasi data pada sekumpulan data hujan.

Pengecekan ketidak konsistensinya data dikerjakan dengan membuat kurva dobel-massa, berdasarkan prinsip: Bahwa setiap pencatatan data berasal dari populasi sekandung, akan konsisten, yang bukan sekandung tidak konsisten, yaitu ada penyimpangan arahnya/*trend*-nya.

Satu kelompok (5-10) stasiun-stasiun dasar di sekeliling stasiun yang datanya akan dicek konsistensinya. Disusun menurut *Array* data masing-masing, misalnya ada 5 stasiun sekeliling, yaitu stasiun A, B, C, D, dan E dengan *array* data: $R_{A1} \text{ s/d } R_{A30}$, $R_{B1} \text{ s/d } R_{B30}$, $R_{C1} \text{ s/d } R_{C30}$, $R_{D1} \text{ s/d } R_{D30}$, dan $R_{E1} \text{ s/d } R_{E30}$. Sedangkan stasiun yang datanya akan di cek adalah stasiun X, dengan data $R_{X1} \text{ s/d } R_{X30}$. Indeks 1 adalah data tahun ke 1 pendataan dan seterusnya sampai dengan indeks 30 adalah data tahun ke 30 pendataan. Misalnya tahun ke 1 pada Tahun 1957, tahun ke 30 pada Tahun 1987, dari data stasiun sekeliling 5 stasiun tersebut, setiap tahun diratakan-ratakan = R_r , jadi terdapat R_{r1} , R_{r2} , s/d R_{r30} dan

juga terdapat R_{x1} , R_{x2} , s/d R_{x30} . Kemudian dibuat grafik cartesian, dimana R_r sebagai absis sedangkan R_x sebagai ordinat, dimulai dari indeks yang terbesar menurun dan akumulasi.



Gambar 2. 1 Test Konsistensi Data Hujan Stasiun A

Pada Gambar 2.1 kurva double mass terlihat bahwa mulai tahun 1978 sampai tahun data akhir yaitu 1987, mempunyai tren yang berbeda dengan tahun-tahun sebelumnya yaitu 1978.

- Trend Tahun 1978-1987 = trend baru = T_B
- Trend Tahun 1957-1978 = trend keran lama = T_L

Yang berarti bahwa *trend* yang akan datang, akan mengikuti *trend* yang baru jika tak ada perubahan-perubahan *trend* lagi selama periode perencanaan. Sehingga



dalam analisis curah hujan pada Stasiun X, agar sesuai dengan tren baru, maka data-data hujan sebelum tahun 1978 ke belakang, perlu dikoreksi terlebih dahulu dengan faktor koreksi.

$$\text{Faktor konsisten} = F_k = \frac{T_B}{T_L}$$

Misal: $F_k = 0,4$ dan $R_{X1979} = 150$ mm (asli), harus ditulis menjadi $R_{X1977} = 0,4 \times 150 = 60$ mm. Demikian pula R_{X1976} s/d R_{X1957} . Dengan demikian maka 1 *array* data hujan dari tahun 1957 s/d 1987, seluruhnya mengikuti *trend* baru. Jika selama periode perencanaan akan ada perubahan-perubahan *trend* lagi, maka tinggi-tinggi hujan dalam *array* data tersebut perlu dikoreksi lagi, sesuai dengan perkiraan perubahan *trend* yang akan datang sehingga data-data hujan sebelum tahun 1978 dikoreksi dua kali dan data-data hujan akhir pendataan 1987 sampai dengan 1978 dikoreksi 1 kali dan seterusnya. Dalam hal ini perencanaan harus jeli dan waspada pada kemungkinan-kemungkinan terjadinya GEOMORFOLOGI masa mendatang (selama periode *design*). Hal mana sangat mempengaruhi perkiraan-perkiraan tinggi hujan rencana.

2.5. TEST HOMOGENITAS

Satu *array* data hujan untuk dianalisa harus homoge. Ketidakhomogenitas hujan mungkin disebabkan karena gangguan-gangguan atmosfer oleh pencemaran udara atau adanya hujan buatan yang sifatnya insidental. Bila 1 *array* data hujan homogenya yaitu jika *PLOTTING* TITIK.

$H(N, T_R)$ pada kertas grafik

Berada pada bagian dalam grafik homogenitas.

Harga T_R dengan persamaan: $T_R = \frac{R_{10}}{R} \times T_R$ sebagai ordinat. Dan N = jumlah tahun data hujan, sebagai absis.

Dimana:

R_{10} = presipitasi tahunan dengan PUH 10 tahun rencana.

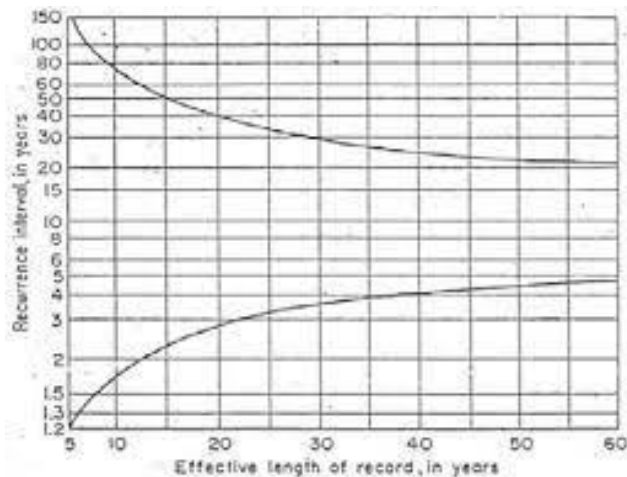
R = presipitasi tahunan rata-rata dalam 1 *array* data.

T_R = PUH nya R

Untuk mencari R_{10} dan T_R perlu memakai persamaan regresi. Jika *plotting* pada kertas grafik homogenitas ternyata berada di luar, maka pemilihan *array* data

diubah dengan memilih awal dan akhir pendataan lain, sedemikian sehingga titik H (N , T_R) berada pada bagian dalam grafik homogenitas. Cara mengubah 1 array data mungkin sebagai berikut:

1. Ditambah jumlahnya, misalnya dari tahun 1957 sampai dengan 1987 menjadi dari tahun sebelum tahun 1952
2. Digeser mundur dengan jumlah data yang sama misalnya semula 1 data dari tahun 1957 sampai dengan 1987 = 30 tahun diubah menjadi dari tahun 1956 sampai dengan 1986 = 30 tahun.
3. Dikurangi jumlahnya tetapi tidak dianjurkan dalam kurung hanya jika perlu



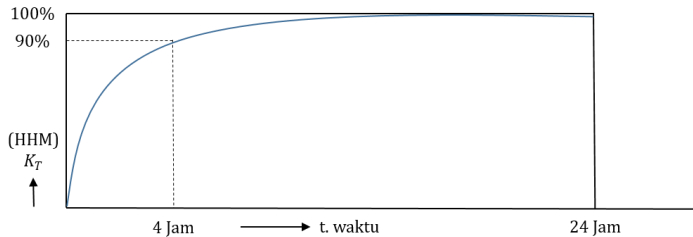
Gambar 2. 2 Homogeneity Test Graph

2.6. PERSENTASE DATA HUJAN

Data hujan yang telah dites konsistensi dan homogenitas nya dapat diinterpretasi dan dianalisa sebagai berikut:

- a. Kurva Massa Hujan

Kurva massa hujan diplot dari akumulasi tinggi hujan versus waktu (lihat Gambar 1.3 kurva massa hujan)



Gambar 2. 3 Kurva Massa Hujan Harian

Berdasarkan penyelidikan Ir. Van Breen (di Indonesia), hujan harian terkonsentrasi selama 4 jam (*Duration Uniform Rainfall*) dengan tinggi hujan sebesar 90% dari tinggi hujan selama 24 jam seperti terlukis pada Gambar 2.3.

Intensitas hujan untuk masing-masing stasiun pengamat hujan diperhitungkan sebagai berikut:

$$I_T^{240} = \frac{90 \% R_T}{4} \text{ mm/jam} \quad (2.4)$$

Dimana:

I_T^{240} = intensitas hujan pada waktu 240 menit dan dengan PUH = T tahun (mm/jam)

R_T = tinggi hujan harian dengan PUH T tahun (mm). Harga T = PUH = 5 Tahun.

Untuk Jakarta, harga $I_5^{240} = 31,2 \text{ mm/jam}$,

Jadi $R_5 = \frac{4 \times 31,2}{0,9} = 138,7 \text{ mm/24 jam}$.

Persamaan intensitas hujan dari Van Breen menurut Tablot dapat di Tulis sebagai berikut:

$$I_5 = \frac{8767,49}{t + 41,02} \text{ mm/jam} \quad (2.5)$$

Dimana:

I_5 = intensitas hujan 5 tahunan (mm/jam)

$t = t_c$ = waktu konsentrasi (menit)

Pola persamaan Van Breen ini dapat dipakai untuk perhitungan drainase di Indonesia.



2.7. Mencari Harga Rata-Rata Tinggi Intensitas Hujan (I) Atau Rata- Rata Tinggi Presipitasi (R)

A. Metode data-data aljabar

$$I_{T.r} = \frac{\sum_1^n (I_T)_N}{n} \quad (2.6)$$

Dimana:

$I_{T.r}$ = Intensitas hujan rata-rata dari n stasiun pengamat hujan, PUH = T tahun (mm/jam)

n = Banyaknya stasiun pengamat hujan yang memberikan data (buah)

(I_T) = Intensitas hujan dari masing-masing stasiunhujan, PUH = T tahun (mm/jam)

$\sum_1^n$ = Tanda penjumlahan dari stsiun No.1 s/d No. n

Metode ini dipakai untuk daerah datar dimana penyebaran stasiun pengamat h hujan merata, dn perbedaan $(I_T)_n$ dari masing-masing stasiun tidak jauh berbeda, kurang dari 10%.

B. Metode Thiessen

$$I_{T.r} = \frac{\sum_1^n A_n I_n}{\sum_1^n A_n} \text{ mm/jam} \quad (2.7)$$

Dimana:

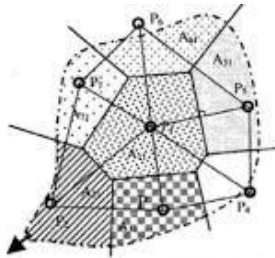
$I_{T.r}$ = Intensitas hujan rata-rata dari n stasiun pengamat hujan, PUH = T tahun (mm/jam)

(A_n) = Luas masing-masing polygon No. 1s/d No. n dalam DAS (Ha)

(I_n) = Intensitas hujan dari masing-masing poligon, dalam DAS (mm/jam)

$\sum_1^n$ = Tanda penjumlahan dari stsiun No.1 s/d No. n

Pembagian poligon dalam DAS yang disajikan pada Gambar 1.4.



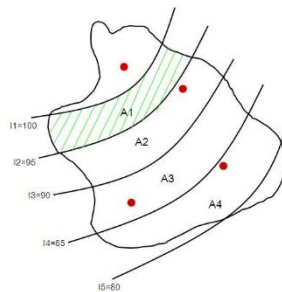
Gambar 2. 4 Poligon Thiessen

- I_1 = stasiun No.1 dengan intensitas I_1 luas poligon A_1
- I_2 = stasiun No.2 dengan intensitas I_2 luas poligon A_2
- I_3 = stasiun No.3 dengan intensitas I_3 luas poligon A_3
- PQ = sumbu $I_1 I_2$
- PR = sumbu $I_1 I_3$
- PS = sumbu $I_2 I_3$
- A_1 = Luas DAS yang dibatasi RPQ
- A_2 = Luas DAS yang dibatasi SP
- A_3 = Luas DAS yang dibatasi RPS

Metode Thiessen digunakan jika penyebaran stasiun pengamat hujan tidak merata.

C. Metode Isohyet

Metode ini memerlukan peta isohyet (=kontur tinggi hujan) sedangkan kontur tinggi hujan sering berubah, sehingga tidak praktis. Sebetulnya mempunyai hasil lebih diteliti. Untuk kegunaan praktis tidak dipakai.



Gambar 2. 5 Isohyet



Masih banyak cara-cara mencari tinggi rata-rata intensitas hujan atau tinggi hujan rata-rata dari suatu DAS yang mempunyai beberapa data atau beberapa Stasiun pengukur hujan, misalnya nya

- *Intersection Line Method* yaitu penyederhanaan cara isohyet.
- *Depth-Elevation Method* yaitu kenaikan tinggi hujan sebagai fungsi dari kenaikan elevasi permukaan Stasiun pengukur hujan.
- *Mean Areal Elevation Method* yaitu sebagai lanjutan dari *Depth-Elevation Method*, setelah dibuat persamaannya cara ini untuk perhitungan jangka panjang.

Dalam kegunaan praktis drainase cukup hanya memakai diantara dua cara diatas yaitu cara rata-rata aljabar dan cara thiessen.

2.8. ANALISA FREKUENSI NILAI EKSTREM

Dari setiap Stasiun hujan diperoleh 1 array data (minimum 30 tahun) yaitu "Hujan Harian Maksimum" dalam setahun diberi notasi P_1 (mm/24 jam) selama N tahun pendataan. Jadi harga i menyatakan angka tahun ke-1 s/d N . Angka-angka hujan tersebut harus sudah dikoreksi dengan f_k dan dengan analisa frekuensi didapat "GARIS REGRESI" sebagai tempat kedudukan nilai ekstrem hujan harian (*maximum daily rainfall*).

Persamaan Regresi:

$$R = \mu + \frac{1}{\lambda} y \quad (2.8)$$

Dimana:

R = tinggi hujan (presipitasi) harian maksimum (mm/24 jam)

y = variasi reduksi (*reduced variate*), harganya di tabelkan

μ dan $\frac{1}{\lambda}$ adalah koefesien, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{\sigma_R}{\sigma_n} \quad (2.9)$$

Dimana:

$\frac{1}{\lambda}$ = harga rata-rata presipitasi dalam 1 array data (tahun ke 1 s/d N)

σ_R = standar deviasi yang diharapkan (*expected standard deviation*) harganya di tabelkan



σ_n = harga rata-rata yang diharapkan (*expected mean*) harganya ditebalkan

Harga σ_n , $\bar{Y}_n$ dihubungkan dengan N (lihat tabel pada lampiran).

σ_R = standar deviasi dari harga rata-rata presipitasi pada *array* data, dinyatakan dalam persamaan:

$$\sigma_R = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (R_i - \bar{R})^2}{N-1} \right]^{1/2} \quad (2.10)$$

Untuk mencari σ_R , data-data presipitasi harian maksimum disusun menurut ranking, dari tertinggi menurun sampai dengan yang terendah, dibuat datar dalam tabel dengan kolom-kolom sebagai berikut:

Kolom 1 = R_i (mm/24 jam), bagian terbawah penjumlahan dari R_i di bagi $N = m$, didapatkan $\bar{R}$

2 = $n = N_0$, ranking

3 = $R_i - \bar{R}$

4 = $(R_i - \bar{R})^2$ bagian terbawah penjumlahannya

Jadi urutan-urutan mencari garis regresi sebagai berikut:

- i) Buat kolom-kolom 1 s/d seperti diatas
- ii) Didapat harga-harga : R , $\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2$, σ_R
- iii) Kemudian dari tabel dicari harga-harga: σ_R , dan $\bar{Y}_n$, disesuaikan dengan harga N
- iv) Dihitung: $\frac{1}{\lambda} = \frac{\sigma_R}{\sigma_n}$ dan $\mu = \bar{R} - \frac{1}{\lambda} \bar{Y}_n$
- v) Terdapatlah persamaan regresi $R = \mu + \frac{1}{\lambda} y$
- vi) Dari persamaan diplot pada kertas *extreme probability paper*.
Dalam tulisan ini disajikan "GUMBEL'S EXTREME PROBABILITY PAPER" dapat dilihat pada lampiran.

Contoh perhitungan:

Tabel 2. 3

Data hujan harian maksimum dari stasiun A, B, C dimana angka dalam kurung = data yang hilang, dihitung dengan pembanding normal.

Tahun Pendataan	Curah Hujan Harian Maksimum (R_i) dalam mm/24 jam		
	Stasiun A	Stasiun B	Stasiun C
1957	126	114	133



Tahun Pendataan	Curah Hujan Harian Maksimum (R_i) dalam mm/24 jam		
	Stasiun A	Stasiun B	Stasiun C
1958	131	131	143
1959	(114)	104	113
1960	97	89	103
1961	79	69	87
1962	98	84	95
1963	106	95	109
1964	113	99	115
1965	137	124	123
1966	143	134	128
1967	89	(86)	100
1968	94	105	93
1969	117	109	118
1970	122	119	135
1971	130	121	129
1972	146	129	139
1973	163	139	148
1974	120	87	(108)
1975	150	159	173
1976	151	169	198
1977	152	115	130
1978	149	132	140
1979	148	106	110
1980	145	90	101
1981	144	70	99
1982	88	85	(91)
1983	95	96	105
1984	93	100	112
1985	112	125	119
1986	119	135	131
Rata-Rata Data	$\bar{R}_A = \frac{3557}{29} = 122,66$	$\bar{R}_B = \frac{3234}{29} = 111,52$	$\bar{R}_C = \frac{3429}{29} = 118,24$

Dalam contoh, ketiga stasiun tidak ada yang lengkap datanya, perlu dilengkapi. Setiap tahun pendataan, ketiganya ada yang mempunyai perbedaan tidak lebih dari 10%, tetapi ada yang mempunyai perbedaan lebih dari 10%, maka dalam melengkapi data dipakai “PEMBANDING NORMAL”.

Persamaan:

$$\frac{(R_i)_x}{R_x} = \frac{1}{n-1} \sum_{R_n}^n \frac{(R_i)_n}{R_n} \text{ (tanpa suku index x diruas kanan)} \quad (2.11)$$

Jumlah stasiun $n = 3$, yaitu A, B dan C.



Jadi untuk mencari R_{1959} pada Stasiun A adalah

$$\begin{aligned}\frac{(R_A)1959}{R_A} &= \frac{1}{2} \left(\frac{R_B 1959}{\bar{R}_B} + \frac{R_C 1959}{\bar{R}_C} \right) \\ (R_A)1959 &= \frac{122,66}{2} \left(\frac{104}{111,52} + \frac{113}{122,46} \right) \\ &= 113,79 \sim 114 \text{ mm/24 jam}\end{aligned}$$

Untuk mencari R_{1967} pada Stasiun B adalah

$$\begin{aligned}\frac{(R_B)1967}{R_B} &= \frac{1}{2} \left(\frac{R_A 1967}{\bar{R}_A} + \frac{R_C 1967}{\bar{R}_C} \right) \\ (R_A)1967 &= \frac{111,52}{2} \left(\frac{89}{112,66} + \frac{100}{122,46} \right) \\ &= 85,99 \sim 86 \text{ mm/24 jam}\end{aligned}$$

Untuk mencari R_{1974} dan R_{1982} pada Stasiun C adalah

$$\begin{aligned}\frac{(R_C)1974}{R_C} &= \frac{1}{2} \left(\frac{R_A 1974}{\bar{R}_A} + \frac{R_B 1974}{\bar{R}_B} \right) \\ (R_C)1974 &= \frac{122,46}{2} \left(\frac{120}{112,66} + \frac{87}{111,52} \right) \\ &= 107,70 \sim 108 \text{ mm/24 jam} \\ \frac{(R_C)1982}{R_C} &= \frac{1}{2} \left(\frac{R_A 1982}{\bar{R}_A} + \frac{R_B 1982}{\bar{R}_B} \right) \\ (R_A)1982 &= \frac{122,46}{2} \left(\frac{88}{112,66} + \frac{85}{111,52} \right) \\ &= 90,60 \sim 91 \text{ mm/24 jam}\end{aligned}$$

Setelah data dilengkapi, kemudian di cek konsistensinya. Perlu data hujan dengan *array* yang sama dari paling sedikit 5 stasiun dasar disekelilingnya. Jika DAS perencanaan drainase dalam perhitungan dimensi saluran diperlukan:

- i) Rata-rata data hujan dari ketiga stasiun A, B, C, maka diperlukan lagi paling diperlukan lagi paling sedikit 5 stasiun dasar disekelilingnya, yaitu stasiun D, E, F, G dan H.
- ii) Rata-rata data hujan dari kedua stasiun A, B, diperlukan 4 stasiun lagi plus C sendiri.
- iii) Hanya data hujan dari stasiun A saja, diperlukan 3 stasiun lagi plus B dan C.



Dalam contoh ini, perhitungan dimesi saluran diperlukan rata-rata data dari ketiga stasiun A, B, C, jadi perlu 5 stasiun dasar di sekeliling DAS.



Tabel 2. 4

Data hujan harian maksimum dari stasiun D, E, F, G, H, sekeliling stasiun A, B, C untuk test konsistensi.

Tahun Pendataan	Curah Hujan Harian Maksimum (R _i) dalam mm/24 jam						Akumulasi nilai $\bar{R}$ dari bawah
	ST. D	ST. E	ST. F	ST. G	ST. H	$\bar{R}$ stasiun dasar	
1957	125	115	130	120	123	122,6	3.498,6
1958	130	132	140	131	136	113,8	3.376,6
1959	110	105	110	107	108	108,0	3.242,2
1960	96	90	100	93	95	94,8	3.134,2
1961	78	70	84	74	77	76,6	3.039,4
1962	97	85	92	91	88	90,6	2.962,8
1963	105	96	106	100	101	101,6	2.872,2
1964	112	100	112	106	106	107,2	2.770,6
1965	136	125	120	130	123	126,8	2.663,4
1966	142	135	125	138	130	134,0	2.536,6
1967	88	92	97	90	95	924	2.402,6
1968	93	106	90	100	98	97,4	2.310,2
1969	116	110	115	113	112	113,2	2.212,8
1970	121	120	126	121	123	122,2	2.099,6
1971	129	122	132	126	127	127,2	1.977,4
1972	145	130	136	138	133	136,4	1.850,2
1973	162	140	145	151	143	148,2	1.713,8
1974	119	88	108	104	98	103,4	1.565,6
1975	149	160	170	155	165	159,8	1.462,2
1976	150	170	195	160	183	171,6	1.302,4
1977	151	114	129	133	122	129,8	1.130,8
1978	148	131	139	139	135	138,4	1.001,0
1979	147	105	109	126	107	118,8	862,6
1980	144	99	100	122	100	113,0	743,8
1981	143	69	98	106	88	100,8	630,8
1982	87	84	90	86	89	87,2	530,0
1983	94	95	104	96	100	97,8	442,8
1984	92	99	111	95	102	99,8	345,0
1985	111	124	118	117	116	117,2	245,2
1986	118	134	130	126	132	128,0	128,0

$$\text{Rata-rata stasiun dasar } \bar{R} = \frac{\text{st D} + \text{st E} + \text{st F} + \text{st G} + \text{st H}}{5} = \frac{125 + 115 + 130 + 120 + 123}{5} = 122,6$$

Akumulasi nilai $\bar{R}$ dari bawah

Untuk Tahun 1985 = data tahun 1986 – data tahun 1985
= 128,0 + 117,2 = 245,2

Hal yang sama dilakukan sampai tahun 1957.



Tabel 2. 5

Test konsistensi terhadap Stasiun A.

Hujan Harian Maksimum = H.H.M (mm/24 jam)					
Tahun Pendataan	S.T.A.	Akumulasi Dari Bawah			
		S.T.A.	Ordinat (1 cm = 250 mm/24jam)	ST. Dasar	Absis (cm) (1 cm = 250 mm/24jam)
1957	126	3.671	14,7	3.498,6	14,0
1958	131	3.545	14,2	3.376,6	13,5
1959	114	3.414	13,7	3.242,2	13,0
1960	97	3.300	13,2	3.134,2	12,5
1961	79	3.203	12,8	3.039,4	12,2
1962	98	3.124	12,5	2.962,8	11,9
1963	106	3.026	12,1	2.872,2	11,5
1964	113	2.920	11,7	2.770,6	11,1
1965	137	2.807	11,2	2.663,4	10,7
1966	143	2.676	10,7	2.536,6	10,1
1967	89	2.527	10,1	2.402,6	9,6
1968	94	2.436	9,8	2.310,2	9,2
1969	117	2.344	9,4	2.212,8	8,9
1970	122	2.227	8,9	2.099,6	8,5
1971	130	2.105	8,4	1.977,4	7,9
1972	146	1.975	7,9	1.850,2	7,4
1973	163	1.829	7,3	1.713,8	6,9
1974	120	1.666	6,7	1.565,6	6,3
1975	150	1.546	6,2	1.462,2	5,8
1976	151	1.396	5,6	1.302,4	5,2
1977	152	1.245	5,0	1.130,8	4,5
1978	149	1.093	4,4	1.001,0	4,0
1979	148	944	3,8	862,6	3,5
1980	145	796	3,2	743,8	3,0
1981	144	651	2,6	630,8	2,5
1982	88	507	2,0	530,0	2,1
1983	95	419	1,7	442,8	1,8
1984	93	324	1,3	345,0	1,4
1985	112	231	0,9	245,2	1,0
1986	119	119	0,5	128,0	0,5

Keterangan: Stasiun A berasal dari Tabel 2.3 merupakan stasiun utama

Stasiun dasar berasal dari Tabel 2.4.



Mencari $f_K = \frac{T_B}{T_L}$

$T_B = t_g \beta$ = arah garis lurus, sebagai *trend* baru.

$T_L = t_g \alpha$ = arah garis lurus, sebagai *trend* lama.

Pada Tabel 1.3 test konsistensi terhadap stasiun A, yang perlu diperhatikan adalah hubungan ordinat dan absis. Mulai pada tahun 1982, ada perubahan yaitu pertambahan ordinat dari tahun 1982 lebih besar jika dibanding sesudah tahun 1982 dan seterusnya, berate bahwa arah *trend* garis lurus berubah sehingga ada dua arah garis lurus dan dua tidak konsisten. Kemudian dicari arah-arah 2 garis tersebut yaitu $t_g \beta$ dan $t_g \alpha$. Untuk praktis, diambil masing-masing garis 2 koordinat.

Garis lurus dengan *trend* baru, diambil:

$$t_g \beta = \frac{\text{ordinat th 1982}}{\text{absis th 1982}} = \frac{\text{ordinat titik mulai berubah}}{\text{absis titik mulai berubah}} = \frac{2,0}{2,1}$$

Garis lurus dengan *trend* lama, diambil:

$$t_g \alpha = \frac{\text{ordinat (th 1957-th 1982)}}{\text{absis (th 1957-th 1982)}} = \frac{14,7 - 2,0}{14,0 - 2,1} = \frac{12,7}{11,9}$$

$$\text{Jadi } f_K = \frac{t_g \beta}{t_g \alpha} = \frac{\frac{2,0}{2,1}}{\frac{12,7}{11,9}} = \frac{2,0 \times 11,9}{2,1 \times 12,7} = 0,8924$$

Setelah memperoleh harga f_K (faktor konsistensi, kemudian nilai data mentah (HHM) sebelum tahun 1982, harus dikoreksi dengan f_K dalam *array* data stasiun A tersebut. Jadi *array* data ST. A disajikan pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Hujan Hariam Maksimum (mm/24 jam) Pada Stasiun A Setelah Dikoreksi Dengan $F_k = 0,8924$ Untuk Tahun 1957 S/D 1981

Tahun	$f_k \times R_i$	f_k	R_i	R_i Terkoreksi
1957	$0,8924 \times 126 = 112$	0,8924	126	112
1958	$0,8924 \times 131 = 117$	0,8924	117	117
1959	$0,8924 \times 114 = 102$	0,8924	114	102
1960	$0,8924 \times 97 = 87$	0,8924	97	87
1961	$0,8924 \times 79 = 70$	0,8924	79	70
1962	$0,8924 \times 98 = 87$	0,8924	98	87
1963	$0,8924 \times 106 = 95$	0,8924	106	95
1964	$0,8924 \times 113 = 101$	0,8924	113	101
1965	$0,8924 \times 137 = 122$	0,8924	137	122
1966	$0,8924 \times 143 = 128$	0,8924	143	128
1967	$0,8924 \times 89 = 79$	0,8924	89	79
1968	$0,8924 \times 94 = 84$	0,8924	94	84
1969	$0,8924 \times 117 = 104$	0,8924	117	104
1970	$0,8924 \times 122 = 109$	0,8924	122	109
1971	$0,8924 \times 130 = 116$	0,8924	130	116
1972	$0,8924 \times 146 = 130$	0,8924	146	130
1973	$0,8924 \times 163 = 145$	0,8924	163	145
1974	$0,8924 \times 120 = 107$	0,8924	120	107
1975	$0,8924 \times 150 = 134$	0,8924	150	134
1976	$0,8924 \times 151 = 135$	0,8924	151	135
1977	$0,8924 \times 152 = 136$	0,8924	152	136
1978	$0,8924 \times 149 = 133$	0,8924	149	133
1979	$0,8924 \times 148 = 132$	0,8924	148	132
1980	$0,8924 \times 145 = 129$	0,8924	145	129
1981	$0,8924 \times 144 = 129$	0,8924	144	129
1982	$0,8924 \times 88 = 88$	0,8924	88	88
1983	$0,8924 \times 95 = 95$	0,8924	95	95
1984	$0,8924 \times 93 = 93$	0,8924	93	93
1985	$0,8924 \times 112 = 112$	0,8924	112	112
1986	$0,8924 \times 119 = 119$	0,8924	119	119

Setelah *array* data dikoreksi dengan f_k , kemudian data siap di regresi dengan disusun menurut RANKING TERTINGGI DIATAS, DENGAN No. RANGKING $m =$; , kemudian menurun dengan No. RANGKING m menaik.



Tabel 2. 7 Hujan Harian Maksimum Siap (HHMS) Untuk di Regresi dari Stasiun A.

R_1 (mm/ jam)	m	$(R_1 - \bar{R})$	$(R_1 - \bar{R})^2$
145	1	34	1.156
136	2	25	625
135	3	24	576
134	4	23	529
133	5	22	484
132	6	21	441
130	7	19	361
129	8	18	324
129	9	18	324
128	10	17	289
122	11	11	121
119	12	8	64
117	13	6	36
116	14	5	25
112	15	1	1
112	16	1	1
109	17	-2	4
107	18	-4	16
104	19	-7	49
102	20	-9	81
101	21	-10	100
95	22	-16	256
95	23	-16	256
93	24	-18	324
88	25	-23	529
87	26	-24	576
87	27	-24	576
84	28	-27	729
79	29	-32	1.024
70	30	-41	1.681
$\bar{R} = \frac{3330}{30} = 111$		$\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2 = 11,558$	

Keterangan: R_i merupakan data dari Tabel 2.6 yang telah diurutkan dari yang terbesar hingga ke terkecil.

$\bar{R} = 111$ mm/24 jam

Standar deviasi: $\sigma_R = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{N-1} \right]^{1/2} = \left[\frac{11558}{29} \right]^{1/2} = 19,9638$

$N = 30 \rightarrow \sigma_n = 1,1124$ (berdasarkan Tabel 3.2)

$\bar{y}_n = 0,5362$ (berdasarkan Tabel 3.2)

$\frac{1}{\lambda} = \frac{\sigma_R}{\sigma_n} = \frac{19,9638}{1,1124} = 17,9466$



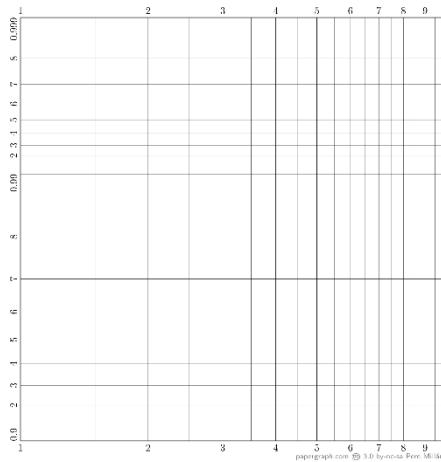
$$\mu = \bar{R} - \frac{1}{\lambda} = 111 - 17,9466 \times 0,5362 = 101,3770$$

Jadi persamaan regresi adalah:

$$R = \mu + \frac{1}{\lambda} y$$

$$R = 101,3770 + 17,9466 y$$

Persamaan ini, kemudian di plot pada “GUMBEL’S PROBABILITY PAPER” sebagai berikut:



Gambar 2. 6 Grafik Gumbel’s Probability Paper

Misalkan,

$$R_1 = 101,3770 \rightarrow Y_1 = 0 \rightarrow \text{titik D } (Y_1, R_1)$$

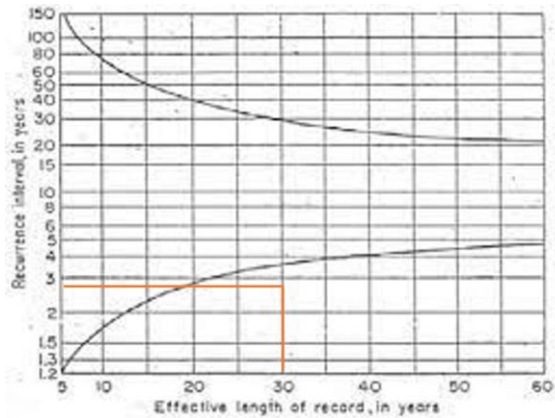
$$Y_2 = 5 \rightarrow R_2 = 191,11 \rightarrow \text{titik G } (Y_2, R_2)$$

Dari titik D dan G ditarik garis = Garis Regresi HHMS stasiun A. Setelah dibuat garis regresi, dicari $R_{10} = ?$ dan $T_R = T_{111} = ?$

Dibaca digaris regresi pada grafik: $R_{10} = 143 \text{ mm/24 jam}$

$$T_R = 2,3 \text{ tahun}$$

$$\begin{aligned} T_R &= \frac{R_{10}}{R} \times T_R \\ &= \frac{143}{111} \times 2,3 \\ &= 2,96 \end{aligned}$$



Gambar 2. 7 Plot

Karena tidak homogen, maka sekarang dicoba hanya diambil data HHM dengan array data dari 1976 s/d 1986, untuk regresi stasiun A.

Tabel 2. 8 H.H.M.S. Tahun 1967 s/d Tahun 1986 untuk diregresi dari stasiun A

R_1 (mm/ jam)	m	$(R_1 - \bar{R})$	$(R_1 - \bar{R})^2$
163	1	37	1.369
152	2	26	675
151	3	25	625
150	4	24	576
149	5	23	529
149	6	22	484
148	7	20	400
146	8	19	361
145	9	18	324
144	10	4	16
130	11	-4	16
122	12	-6	36
120	13	-7	49
117	14	-9	81
119	15	-14	196
95	16	-31	961
94	17	-32	1.024
93	18	-33	1.089
89	19	-37	1.369
88	20	-38	1.444
$\bar{R} = \frac{2527}{20} = 126$		$\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2 = 11,625$	



$$\bar{R} = 126 \text{ mm/24 jam}$$

$$\text{Standar deviasi: } \sigma_R = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{N-1} \right]^{1/2} = \left[\frac{11625}{19} \right]^{1/2} = 24,7354$$

$$N = 20 \rightarrow \sigma_n = 1,0628$$

$$\bar{y}_n = 0,5362$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{\sigma_R}{\sigma_n} = \frac{24,7354}{1,0628} = 23,2738$$

$$\mu = \bar{R} - \frac{1}{\lambda} = 126 - 23,2738 \times 0,5362 = 113,8138$$

Jadi persamaan regresi adalah:

$$R = \mu + \frac{1}{\lambda} y$$

$$R = 113,8138 + 23,2738 y$$

Persamaan ini, kemudian di plot pada "*GUMBEL'S PROBABILITY PAPER*" sebagai berikut:

Misalkan,

$$R_1 = 113,8138 \rightarrow Y_1 = 0 \rightarrow \text{titik D } (Y_1, R_1)$$

$$Y_2 = 5 \rightarrow R_2 = 230,1828 \rightarrow \text{titik G } (Y_2, R_2)$$

Dari titik D dan G ditarik garis = Garis Regresi HHMS stasiun A. Setelah dibuat garis regresi, dicari $R_{10} = ?$ dan $T_R = T_{126} = ?$

Dibaca digaris regresi pada grafik: $R_{10} = 168 \text{ mm/24 jam}$

$$T_R = 2,6 \text{ tahun}$$

Kemudian hitung titik homogenitasnya:

$$\text{Ordinat: } T_R = \frac{R_{10}}{\bar{R}} \quad T_R = \frac{168}{126} \times 2,6 = 3,5$$

$$\text{Absis: } N = 20$$

Titik $H(N, T_R) = H(20, 35)$ diplot pada kertas grafik homogenitas ternyata titik H berada didalam antara kedua homogenitas $\rightarrow$ berarti homogen. Dus, *array* data tahun 1967 s/d 1986 yang digunakan untuk analisis selanjutnya.

2.9. RETURN PERIOD (RECURRENCE INTERVAL)

Yang disebut *Return Period* adalah periode (dalam tahun) di mana suatu hujan dengan tinggi intensitas yang sama, kemungkinan dapat berulang kembali kejadiannya satu kali, dalam periode waktu tertentu. Missal 2, 5, 10, 25, 50, 100



tahun sekali. tinggi intensitas hujan, makin besar perioda ulangnya, makin menaik. Penetapan Perioda Ulang Hujan (PUH) ini, dipakai untuk menentukan besarnya kapasitas saluran air terhadap limpasan air hujan atau besarnya kapasitas (kemampuan) suatu bangunan air, untuk keperluan tertentu, dengan suatu perhitungan dan pertimbangan:

- a. Skala kepentingan/prioritas
- b. Skala kemampuan/dana/ekonomi
- c. Skala resiko/dampak lingkungan
- d. Skala tempat guna/teknis.

Dimana resultannya adalah FEASIBLE (LAYAK)

Skala resiko bencana kadang-kadang memberikan pengaruh pertimbangan pertama dan cukup menentukan, disamping umur bangunan-bangunan, menurut "*GUIDE TO HYDRO METEOROLOGICAL PRACTICE*", hubungan antara PUH dan Faktor resiko sebagai berikut:

$$PUH = N \left[\frac{1}{F_r} - \frac{1}{2} \right]$$

Dimana:

PUH = Perioda Ulang Hujan (Tahun)

N = Umur Rencana Bangunan Air

F_r = Faktor resiko

Faktor resiko biasanya diambil 30%, agar apabila terjadi kerusakan pada BANGUNAN DRAINASE tidak sampai membahayakan atau merusak lingkungan, terutama kepada kehidupan manusia secara langsung.

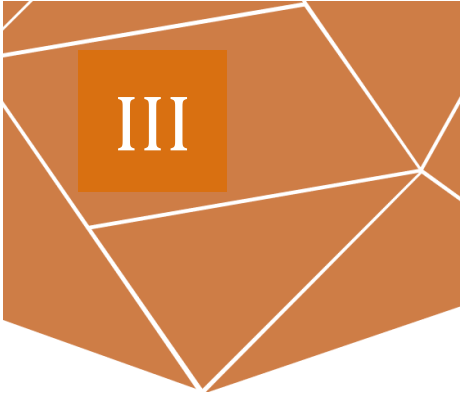
Tabel 2. 9 PUH Untuk Perencanaan Saluran Drainase Kota dan Bangunan-Bangunannya Yang Dianjurkan

No.	Distribusi	PUH (Tahun)
1.	Saluran Mikro Pada Daerah:	
	- Lahan rumah, taman, kebu, kuburan, lahan tak terbangunn	2
	- Kesibukan dan Perkantoran	5
	- Perindustrian:	
	a. Ringan	5
	b. Menengah	10
	c. Berat	25



No.	Distribusi	PUH (Tahun)
	d. Super berat/proteksi negara	50
2.	Saluran Tersier:	
	- Resiko Kecil	2
	- Resiko Besar	5
3.	Saluran Sekunder:	
	- Tanda Resiko	2
	- Resiko Kecil	5
	- Resiko Besar	10
4.	Saluran Primer (Induk):	
	- Tanda Resiko	5
	- Resiko Kecil	10
	- Resiko Besar	25
	Atau:	
	- Luas DAS (25-50) Ha	5
	- Luas DAS (50-100) Ha	(5-10)
	- Luas DAS (100-1.300) Ha	(10-25)
	- Luas DAS (1300-6.500) Ha	(25-50)
5.	Pengendali Banjir Makro	100
6.	Gorong-gorong:	
	- Jalan Raya Biasa	10
	- Jalan <i>Bypass</i>	25
	- <i>Free Ways</i>	50
7.	Saluran Tepian	
	- Jalan Raya Biasa	(5-10)
	- Jalan <i>Bypass</i>	(10-25)
	- <i>Free Ways</i>	(25-50)

Sumber:



BAB 3 DESAIN INTENSITAS HUJAN

Dengan garis regresi secara grafik TINGGI-TINGGI H.H.M. rencana dapat diperoleh, demikian pula PUH-nya. Namun hal ini kurang seksama, artina kemungkinan kesalahannya besar, tergantung tebalnya garis tersebut. Untuk itu diperlukan secara matematis sebagai berikut:

$$R_T = \mu + \frac{1}{\lambda} y_T$$

$$\mu = \bar{R} - \frac{1}{\lambda} \bar{y}_n$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{\sigma_R}{\sigma_n}$$

Jadi:

$$\begin{aligned} P_T &= \bar{R} - \frac{\sigma_R}{\sigma_n} y_T \\ &= \bar{R} + \frac{\sigma_R}{\sigma_n} (y_T - \bar{y}_n) \\ &= \bar{R} + \frac{\sigma_R}{\sigma_n} (y_T - \bar{y}_n) \end{aligned}$$

Dimana:

R_T = H.H.M.S. rencana dengan PUH = T tahun

$\bar{R}$ = Presipitasi rata-rata dala *array* data HHMS (mm/ 24 jam)

σ_r = Standard Deviasi(dihitung)

σ_n = *Expected* Standard Deviasi (tabel)

y_T = Reduced variate untuk PUH = T tahun (tabel)

y_n = Expected Mean Reduced Variate (tabel)

Persamaan diatas disebut dengan persamaan GUMBEL.

Tabel 3. 1 Reduced Variate (y_T) Pada PUH T tahun

PUH = T (Tahun)	Reduced Variate (y_T)
2	0,3664
5	1,4999
10	2,2502
25	3,1985
50	3,9019
100	4,6001

Sumber: J. NEMEC "Engineering Hydrology"

Tabel 3. 2 Reduced Mean (y_n) dan Reduced Standard Deviation (σ_n)

n	$\bar{y}_n$	$\bar{\sigma}_n$	n	$\bar{y}_n$	$\bar{\sigma}_n$
10	0,4952	0,9496	56	0,5508	1,1696
11	0,4996	0,9676	57	0,5511	1,1701
12	0,5035	0,9833	58	0,5515	1,1721
13	0,5700	0,9971	59	0,5518	1,1734
14	0,5100	1,0095	60	0,5521	1,1747
15	0,5128	1,0506	61	0,5524	1,1759
16	0,5181	1,0316	62	0,5527	1,1770
17	0,5202	1,0411	63	0,5530	1,1782
18	0,5220	1,0493	64	0,5533	1,1793
19	0,5236	1,0565	65	0,5535	1,1803
20	0,5252	1,0628	66	0,5538	1,1814
21	0,5268	1,0696	67	0,5540	1,1824
22	0,5283	1,0754	68	0,5543	1,1834
23	0,5296	1,0811	69	0,5545	1,1844
24	0,5309	1,0864	70	0,5548	1,1854
25	0,5320	1,0915	71	0,5550	1,1863
26	0,5332	1,0961	72	0,5552	1,1873
27	0,5343	1,1004	73	0,5555	1,1881
28	0,5353	1,1047	74	0,5557	1,1890
29	0,5362	1,1086	75	0,5559	1,1898
30	0,5371	1,1124	76	0,5561	1,1906
31	0,5380	1,1159	77	0,5563	1,1898
32	0,5388	1,1193	78	0,5565	1,1906
33	0,5396	1,1226	79	0,5569	1,1915
34	0,5402	1,1255	80	0,5570	1,1923
35	0,5410	1,1285	81	0,5572	1,1930
36	0,5418	1,1313	82	0,5574	1,1938
37	0,5424	1,1339	83	0,5576	1,1945
38	0,5430	1,1363	84	0,5578	1,1953
39	0,5436	1,1388	85	0,5580	1,1967
40	0,5442	1,1413	86	0,5581	1,1973
41	0,5448	1,1436	87	0,5583	1,1980
42	0,5453	1,1458	88	0,5585	1,1987
43	0,5458	1,1480	89	0,5587	1,1994
44	0,5463	1,1499	90	0,5586	1,2001



n	$\bar{y}_n$	$\bar{\sigma}_n$	n	$\bar{y}_n$	$\bar{\sigma}_n$
45	0,5463	1,1519	91	0,5587	1,2007
46	0,5468	1,1538	92	0,5589	1,2013
47	0,5473	1,1557	93	0,5591	1,2020
48	0,5477	1,1574	94	0,5592	1,2026
49	0,5481	1,1590	95	0,5593	1,2032
50	0,5485	1,1607	96	0,5595	1,2038
51	0,5489	1,1623	97	0,5596	1,2044
52	0,5493	1,1698	98	0,5598	1,2049
53	0,5497	1,1658	100	0,5599	1,2055
54	0,5501	1,1667		0,5600	1,2060
55	0,5504	1,1681			1,2069

Sumber: J. NEMEC "Engineering Hydrology"

Perhitungan perkiraan HHM untuk bebaga PUH dengan metode Gumbel dengan persamaan:

$$R_T = \bar{R} + \frac{\sigma R}{\sigma N} (Y_T + \bar{Y}_N)$$

$$T = 2 \quad R_2 = 126 + \frac{24,7354}{1,0628} (0,3665 - 0,5236) = 122,3 \text{ mm/24 jam}$$

$$T = 5 \quad R_2 = 126 + \frac{24,7354}{1,0628} (1,4999 - 0,5236) = 148,7 \text{ mm/24 jam}$$

$$T = 10 \quad R_2 = 126 + \frac{24,7354}{1,0628} (2,2502 - 0,5236) = 166,2 \text{ mm/24 jam}$$

$$T = 25 \quad R_2 = 126 + \frac{24,7354}{1,0628} (3,1985 - 0,5236) = 188,3 \text{ mm/24 jam}$$

$$T = 50 \quad R_2 = 126 + \frac{24,7354}{1,0628} (3,9019 - 0,5236) = 204,6 \text{ mm/24 jam}$$

$$T = 100 \quad R_2 = 126 + \frac{24,7354}{1,0628} (4,6001 - 0,5236) = 220,9 \text{ mm/24 jam}$$

**Tabel 2. 10 Curah Hujan Harian Maksimum Utnuk Berbagi PUH, Hasil
Perhitungan Metode Gumbel**

PUH (TAHUN)	HHM (mm/24 jam)
2	122,3
5	148,7
10	166,2
25	188,3
50	204,6
100	220,9

Sumber: Hasil Perhitungan



3.1. RENTANG KEYAKINAN (CONVINDENCE INTERVAL) UNTUK HARGA2 P_T

Setelah HHM rencana dihitung menurut salah satu metoda analisisnya, yaitu dengan Metoda Gumbel, maka perlu dicari rentang keyakinan (*convindence interval*), yaitu keyakinan bahwa harga-harga perkiraan terebut mempunyai RENTANG HARGA, missal dari 100 mm/24 jam, yang ditulis (105 ± 5) mm/24 jam. Jadi rentang kenyakinan adalah ± 5 mm/24 jam.

Persamaannya:

$$R_K = \pm t(a)Se \quad (3.1)$$

Dimana:

R_K = Rentang keyakinan (*convindence interval*) (mm/24 jam)

$T(a)$ = fungsi a

Se = *probability error* (deviasi)

Untuk :

- a = 90%, $t(a) = 1,64$

- a = 80%, $t(a) = 1282$

- a = 68%, $t(a) = 1,000$

$$Se = b \sqrt{\frac{\sigma R}{\sqrt{N}}} \rightarrow b = \sqrt{1 + 1 + 1,3k + 1,1k^2}$$

$$k = \frac{y_T - y_n}{\sigma R}$$

n = jumlah data tahun pengamatan

Untuk *convindence interval* a = 90%, $t(a) = 1,64$, sehingga *convindence interval* untuk harga-harga P_T, dapat dihitung sebagai tertera pada Tabel 3.3. Sedangkan perhitungan curah hujan maximum dengan berbagai harga P_{UH} nya (R_T) dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Perhitungan K, b, Se dan $t(a)Se$ untuk a = 90%

T = 2 tahun

$$K = 20 \quad k = \frac{y_T - y_n}{\sigma R}$$



dilihat pada Tabel 3.2 $Y_T = 0,5283$, $\sigma_R = 1,0628$

$$k = \frac{0,3665 - 0,5236}{1,0628} = 0,1262$$

$$b = \sqrt{1 + 1,3 \times (-0,1262) + 1,1 (-0,1262)^2} = 0,9238$$

$$Se = 0,9238 \times \frac{24,7354}{\sqrt{20}} = 5,1095$$

$$t(a)Se = 1,64 \times 5,1095 = 8,3769 \sim 8,4$$

T = 5 tahun

K = 20

$$k = \frac{1,4999 - 0,5236}{1,0628} = 0,9186$$

$$b = \sqrt{1 + 1,3 \times 0,9186 + 1,1 (0,9186)^2} = 1,7670$$

$$Se = 1,7670 \times \frac{24,7354}{\sqrt{20}} = 9,7733$$

$$t(a)Se = 1,64 \times 9,7733 = 16,0282 \sim 16,0$$

T = 10 tahun

K = 20

$$k = \frac{2,2502 - 0,5236}{1,0628} = 1,6246$$

$$b = \sqrt{1 + 1,3 \times 1,6246 + 1,1 (1,6246)^2} = 2,4526$$

$$Se = 2,452 \times \frac{24,7354}{\sqrt{20}} = 13,5653$$

$$t(a)Se = 1,64 \times 13,5653 = 22,2471 \sim 22,2$$

T = 25 tahun

K = 20

$$k = \frac{3,1985 - 0,5236}{1,0628} = 2,5168$$

$$b = \sqrt{1 + 1,3 \times 2,5168 + 1,1 (2,5168)^2} = 3,3525$$

$$Se = 3,3525 \times \frac{24,7354}{\sqrt{20}} = 18,5427$$

$$t(a)Se = 1,64 \times 18,5427 = 30,4100 \sim 30,4$$

T = 50 tahun

K = 20

$$k = \frac{3,9019 - 0,5236}{1,0628} = 3,1787$$



$$b = \sqrt{1 + 1,3 \times (3,1787) + 1,1 (3,1787)^2} = 4,0307$$

$$Se = 4,0307 \times \frac{24,7354}{\sqrt{20}} = 22,2938$$

$$t(a)Se = 1,64 \times 22,2938 = 36,5618 \sim 36,6$$

T = 100 tahun

K = 20

$$k = \frac{4,6001 - 0,5236}{1,0628} = 3,6356$$

$$b = \sqrt{1 + 1,3 \times 3,6356 + 1,1 (3,6356)^2} = 4,7084$$

$$Se = 4,7084 \times \frac{24,7354}{\sqrt{20}} = 26,0422$$

$$t(a)Se = 1,64 \times 26,0422 = 42,7092 \sim 42,7$$

Tabel 3. 3 Rentang Keyakinan Harga-Harga R_r

PUH (Tahun)	b	Se	t(a)Se
2	0,9238	5,1095	8,4
5	1,7670	9,7733	16,0
10	2,4526	13,5653	22,2
25	3,3525	18,5427	30,4
50	4,0307	22,2938	36,6
100	4,7084	26,0422	42,7

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 3. 4 Curah Hujan Harian Maksium (Metoda Gumbel, Keyakinan 90%)

PUH (Tahun)	HHM (mm/24 jam)
2	122,3 ± 8,4
5	148,7 ± 16,0
10	166,2 ± 22,2
25	188,3 ± 30,4
50	204,6 ± 36,6
100	220,9 ± 42,7

Sumber: Hasil Perhitungan



3.2. METODA LOG-PEARSON TYPE III

Metoda ini didasarkan pada perusahaan data yang ada kedalam bentuk logaritma. Sesuai dengan anjuran dari *The Hydrology Community of Water Recurrence Council*, maka pemakaian praktis data yang ada, pertama merubah data tersebut kedalam 10 garitmanya , kemudai baru dihitung statikal parameteranya.

1. Menyusun data-data curah hujan (R) mulai dari harga yang terbesar sampai harga yang terkecil
2. Merubah sejumlah N data cuah hujan $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ kedalam bentuk besaran logritma, sehingga menjadi $\log R_1, \log R_2, \log R_3, \dots, \log R_n$. selanjutnya dinyatakan $X_i = \log R_i$
3. Menghitung besarannya harga rata-rata besaran logaritma tersebut menurut persamaan: $\bar{X}$

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N}$$

4. Menghitung besarannya harga deviasi rata-rata dari besaran logaritma tersebit, menurut persamaan:

$$\sqrt{X} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

5. Menghitung harga *Skew coefficient* (koefesien asimetri) dari besaran logaritma diatas, menurut persamaan:

$$C_s = \frac{N \sum (X_i - \bar{X})^2}{(N - 1)(N - 2)(\sqrt{X})^3}$$

Kadang-kadang harga C_s Disesuaikan dengan, N, oleh RADEN (1930) dibuat persamaan sebagai berikut:

$$C_{SH} = C_s \left(h + \frac{8,5}{h} \right) \quad (3.2)$$

6. Berdasarkan harga *Skew coefficient* (C_s) yang diiperoleh dan harga periode Ulang (T) yang ditentukan, menghitung nilai K_x dengan menggunakan Tabel 3.6.

7. Menghitung besarnya harga logaritma dari masing-masing data curah hujan untuk suatu periode ulang T tertentu, dengan menggunakan persamaan:

$$R_T = \bar{X} + Kx \sqrt{x}$$

8. Jadi perkiraan harga HHM untuk metoda periode ulang T (tahun) adalah:

$$R_T = \text{antilog } x_T \text{ atau } R_T = 10^{x_T} \text{ (mm/24 jam).}$$

Persamaan yang diperoleh menurut metode Log Pearson Type III ini lengkungnya digambar pada kertas probabilitas log normal

Kalau $C_s = 0$, akan didapat garis lurus

Tabel 3. 5 Perhitungan HHM metoda Log Pearson Type III

m	$\frac{100 m}{N+1}$	R	X_i	$\text{Log } R = X_i$ ($X_i - \bar{X}$)	$(X_i - \bar{X})^2$	$(X_i - \bar{X})^3$
1	4,76	163	2,21219	0,11908	0,01418	0,001689
2	9,52	152	2,218184	0,08876	0,007873	0,000699
3	14,29	151	2,17898	0,08587	0,007374	0,000633
4	19,05	150	2,17609	0,28298	0,006886	0,000571
5	23,81	149	2,17319	0,08008	0,006413	0,000514
6	28,57	148	2,17026	0,17715	0,005952	0,000459
7	33,33	146	2,16435	0,07124	0,005075	0,000362
8	38,10	145	2,16137	0,06826	0,004659	0,000318
9	42,86	144	2,15836	0,06525	0,004258	0,000278
10	47,62	130	2,11394	0,02083	0,000434	0,000009
11	52,38	122	2,08636	-0,00675	0,000046	-0,000003
12	57,14	120	2,07918	-0,01393	0,000194	-0,0000027
13	61,90	119	2,07555	-0,01756	0,000308	-0,0000054
14	66,67	117	2,06819	-0,02492	0,000621	-0,0000154
15	71,43	112	2,04922	-0,04389	0,001926	-0,000845
16	76,19	95	1,97772	-0,11539	0,013315	-0,0001536
17	80,95	94	1,97313	-0,11998	0,014395	-0,0017271
18	85,71	93	1,96848	-0,12463	0,015533	-0,0019358
19	90,48	89	1,94939	-0,14372	0,020655	-0,0029685
20	95,24	88	1,94448	-0,14863	0,022091	-0,00032833
			41,86227		0,152188	-0,004644

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N} = \frac{41,86227}{20} = 2,09311$$

$$\sqrt{x} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{0,152188}{19}} = 0,089498$$



$$m_1 = \frac{100 \times 1}{20 + 1} = \frac{100}{21} = 4,73$$

$$m_2 = \frac{100 \times 2}{20 + 1} = \frac{200}{21} = 9,52$$

$$C_s = \frac{N \sum (X_i - \bar{X})^2}{(N - 1)(N - 2)(\sqrt{x})^3} = \frac{20x (-0,0046447)}{19x 18x (0,089498)^3} = -0,379$$



Tabel 3. 6 Tabel nilai K untuk Distribusi Log Pearson (Positif Skew Koefesien)

Koefisien Cs atau G	Interval kejadian, tahun (periode ulang)							
	1,0101	1,2500	2	5	10	25	50	100
	Persentase peluang terlampaui (%)							
	99	80	50	20	10	4	2	1
3,0	-0,667	-0,636	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051
2,8	-0,714	0,666	0,384	0,460	1,210	2,275	3,114	3,973
2,6	-0,769	0,696	0,368	0,499	1,238	2,267	3,071	3,889
2,4	-0,832	0,725	0,351	0,537	1,262	2,256	3,023	3,800
2,2	-0,905	-0,752	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705
2,0	-0,990	-0,777	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605
1,8	-1,087	-0,799	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499
1,6	-1,197	-0,817	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388
1,4	-1,318	-0,832	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271
1,2	-1,449	-0,844	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149
1,0	-1,588	-0,852	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022
0,8	-1,733	-0,856	-0,132	0,780	1,336	1,993	2,453	2,891
0,6	-1,880	-0,857	-0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755
0,4	-2,029	-0,855	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615
0,2	-2,178	-0,850	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472
0,0	-2,326	-0,842	0,000	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326

Tabel 3. 7 Tabel nilai K untuk Distribusi Log Pearson (Negatif Skew Koefesien)



Cs	Probabilitas Terjadi (%)												
	99.00	95.00	90.00	80	50	20	10	4	2	1	0.5	0.2	0.1
	Kala ulang												
	1.01	1.05	1.11	1.25	2.00	5.00	10.00	25.00	50.00	100.00	200.00	500.00	1000.00
-3.0	-4.05	-2.00	-1.18	-0.42	0.40	0.64	0.66	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
-2.9	-4.01	-2.01	-1.20	-0.44	0.39	0.65	0.68	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69
-2.8	-3.97	-2.01	-1.21	-0.46	0.38	0.67	0.70	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.72
-2.7	-3.93	-2.01	-1.22	-0.48	0.38	0.68	0.72	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
-2.6	-3.89	-2.01	-1.24	-0.50	0.37	0.70	0.75	0.76	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77
-2.5	-3.85	-2.01	-1.25	-0.52	0.36	0.71	0.77	0.79	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
-2.4	-3.80	-2.01	-1.26	-0.54	0.35	0.73	0.80	0.82	0.83	0.83	0.83	0.83	0.84
-2.3	-3.75	-2.01	-1.27	-0.56	0.34	0.74	0.82	0.86	0.86	0.87	0.87	0.87	0.87
-2.2	-3.71	-2.01	-1.28	-0.57	0.33	0.75	0.84	0.89	0.90	0.91	0.91	0.91	0.91
-2.1	-3.66	-2.00	-1.29	-0.59	0.32	0.77	0.87	0.92	0.94	0.95	0.95	0.95	0.95
-2.0	-3.61	-2.00	-1.30	-0.61	0.31	0.78	0.90	0.96	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00
-1.9	-3.55	-1.99	-1.31	-0.62	0.29	0.79	0.92	1.00	1.02	1.04	1.04	1.05	1.06
-1.8	-3.50	-1.98	-1.32	-0.64	0.28	0.80	0.95	1.04	1.07	1.09	1.10	1.11	1.13
-1.7	-3.44	-1.97	-1.32	-0.66	0.27	0.81	0.97	1.08	1.12	1.14	1.16	1.17	1.20
-1.6	-3.39	-1.96	-1.33	-0.68	0.25	0.82	0.99	1.12	1.17	1.20	1.22	1.24	1.28
-1.5	-3.33	-1.95	-1.33	-0.69	0.24	0.83	1.02	1.16	1.22	1.26	1.28	1.32	1.37
-1.4	-3.27	-1.94	-1.34	-0.71	0.23	0.83	1.04	1.20	1.27	1.32	1.35	1.39	1.47
-1.3	-3.21	-1.93	-1.34	-0.72	0.21	0.84	1.06	1.24	1.32	1.38	1.42	1.47	1.54
-1.2	-3.15	-1.91	-1.34	-0.73	0.20	0.84	1.09	1.28	1.38	1.45	1.50	1.55	1.63
-1.1	-3.09	-1.89	-1.34	-0.75	0.18	0.85	1.11	1.32	1.44	1.52	1.58	1.63	1.71
-1.0	-3.02	-1.88	-1.34	-0.76	0.16	0.85	1.13	1.37	1.49	1.59	1.66	1.72	1.80
-0.9	-2.96	-1.86	-1.34	-0.77	0.15	0.85	1.15	1.41	1.55	1.66	1.75	1.81	1.91
-0.8	-2.89	-1.84	-1.34	-0.78	0.13	0.86	1.17	1.45	1.61	1.73	1.84	1.91	2.04
-0.7	-2.82	-1.82	-1.33	-0.79	0.12	0.86	1.18	1.45	1.66	1.81	1.93	2.01	2.15
-0.6	-2.76	-1.80	-1.33	-0.80	0.10	0.86	1.20	1.53	1.72	1.88	2.02	2.11	2.28
-0.5	-2.69	-1.74	-1.32	-0.81	0.08	0.86	1.22	1.57	1.78	1.96	2.11	2.22	2.40



Cs	Probabilitas Terjadi (%)												
	99.00	95.00	90.00	80	50	20	10	4	2	1	0.5	0.2	0.1
	Kala ulang												
	1.01	1.05	1.11	1.25	2.00	5.00	10.00	25.00	50.00	100.00	200.00	500.00	1000.00
-0.4	-2.62	-1.75	-1.32	-0.82	0.07	0.86	1.23	1.61	1.83	2.03	2.20	2.33	2.54
-0.3	-2.54	-1.73	-1.31	-0.82	0.05	0.85	1.25	1.64	1.89	2.10	2.29	2.44	2.68
-0.2	-2.47	-1.70	-1.30	-0.83	0.03	0.85	1.26	1.68	1.95	2.18	2.39	2.55	2.81
-0.1	-2.40	-1.67	-1.29	-0.84	0.02	0.85	1.27	1.72	2.00	2.25	2.48	3.03	3.95
0.0	-2.33	-1.65	-1.28	-0.84	0.00	0.84	1.28	1.75	2.05	2.33	2.58	2.77	3.09



Untuk nilai C_s (*Skew Coefficient*) yang didapat, maka harga K_x yang sesuai dengan Periode Ulangnya, dicari dalam tabel

Bentuk persamaan yang diperoleh untuk mencari HHM dengan $PUH = T$ adalah:

$$R_T = 10^{(2,093111 + 0,089498 K_x)} \quad (3.3)$$

Lengkung dari persamaan ini, adalah sebagai yang tertera pada Gambar

Harga K_x serta harga Curah Hujan Harian Maksimum rencana yang sesuai dengan periode ulangnya, adalah sebagai yang tertera dalam Tabel

Tabel 3. 8 Curah Hujan Harian Maksimum Rencana (Log Pearson Type III)

PUH (Tahun)	K_x	$K_x \sqrt{x}$	X_T	R_T (mm/24 jam)
2	0,06264	0,005606	2,098716	125,5
5	0,85448	0,076474	2,169584	147,8
10	1,23394	0,110435	2,203545	159,8
25	1,61377	0,144429	2,237539	172,8
50	1,84576	0,165192	2,258302	181,3
100	2,04475	0,183001	2,276111	188,8

$$C_s = -0,379; \sqrt{x} = 0,089498; \bar{X} = 2,09311$$

Keterangan:

K_x dari Tabel 3.7 dan 3.8 interpolasi antar -0,3 dan -0,4 untuk mencari nilai -0,379

$$\begin{aligned} K_x \text{ PUH 2: } -0,3 & \quad 0,05 \\ & -0,375 \quad x \\ & -0,4 \quad 0,006 \\ & = \frac{-0,375 - (-0,3)}{-0,4 - (-0,3)} = \frac{x - 0,05}{0,066 - 0,05} = 0,06264 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_x \text{ PUH 5: } -0,3 & \quad 0,853 \\ & -0,375 \quad x \\ & -0,4 \quad 0,855 \\ & = \frac{-0,375 - (-0,3)}{-0,4 - (-0,3)} = \frac{x - 0,853}{0,855 - 0,853} = 0,85448 \end{aligned}$$

Dan seterusnya.

$$\begin{aligned} K_x \sigma_x &= 0,6264 \times 0,089498 = 0,005606 \\ X_T &= \bar{X} + K_x \sigma_x \\ &= 2,09311 + 0,005606 = 2,098716 \\ R_T &= 10^{X_T} = 10^{2,098716} = 125,5 \end{aligned}$$



Berdasarkan kedua metoda yang digunakan dalam perhitungan dalam perhitungan curah hujan harian, didapat hasil sebagai yang tertera di dalam Tabel 3.9.

Tabel 3. 9 Perbandingan Harga HHM Metoda Gumbel dan Log Pearson Type III

PUH (Tahun)	Curah Hujan Harian Maksimum (mm/24 jam)	
	GUMBEL	LOG PEARSON TYPE III
2	122,3 ± 8,4	125,5
5	148,7 ± 16,0	147,8
10	166,2 ± 22,2	159,8
25	188,3 ± 30,4	172,8
50	204,6 ± 36,6	181,3
100	220,9 ± 42,7	188,8

Sumber: Tabel 1.12 dan Tabel 1.14

Dari Tabel 1.15 terlihat bahwa untuk perioda ulang 2 tahun metoda Gumbel memberikan hasil yang lebih kecil, sedang untuk perioda ulang 5 tahun dan seterusnya memberikan hasil yang lebih besar bila dibandingkan harga menurut metoda Log Pearson Type III. Namun demikian hasil yang diperoleh menurut metoda Log Pearson Type III, masih berada didalam interval harga menurut metoda Gumbel. Walaupun demikian dalam peramalan curah hujan harian maksimum untuk keperluan perencanaan bangunan air di Indonesia sudah banyak digunakan metoda Gumbel. Dengan demikian untuk perencanaan sistem penyaluran air hujan kota, akan digunakan hasil perhitungan curah hujan harian maksimum menurut metoda Gumbel.

3.3. METODA IWAI

Metoda Iwai ini disebut pula cara distribusi terbatas sepihak (*one side finite distribution*). Prinsip dasarnya adalah merubah variabel (x) dari kurva kemungkinan kerapatan dari curah hujan harian maksimum ke $\log x$ atau merubah kurva distribusi yang asimetris menjadi kurva distribusi normal. Kemungkinan terlampaui $w(x)$ dengan asumsi data hidrologi mempunyai distribusi log-normal. Harga b (konstanta) > 0 , sebagai harga minimum variabel kemungkinan (x), maka setiap sukunya diambil $x + b$, dimana harga $\log(a+b)$ diperkirakan mempunyai distribusi normal.

Perhitungan cara Iwai, δ adalah variabel normal, dihitung dengan persamaan:



$$\delta = c \log \frac{x + b}{X_0 + b} \quad (3.4)$$

Dimana: $\log (X_0 + b) = \bar{X}_0$ adalah harga rata-rata dari $\log (X_i + b)$

Langkah-langkah perhitungan nya adalah sebagai berikut:

1. Memperkirakan harga x_0 :

$$\log x_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log x_i$$

2. Memperkirakan harga b :

$$b = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n b_i, m \sim \frac{n}{10}$$

$$b_i = \frac{x_s \times x_t - x_0}{2 \times x_0 (x_s + x_t)}$$

3. Memperkirakan harga x_0 :

$$\bar{x}_0 = \log(x_0 + b)$$

$$= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log(x_i + b)$$

4. Memperkirakan harga c :

$$\frac{1}{c} = \sqrt{\frac{2}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\log \frac{x_i + b}{x_0 + b} \right)^2} = \left[\frac{2n}{n-1} (\bar{x}^2 - \bar{x}_0^2) \right]^{1/2}$$

$$\text{Dimana: } \bar{x}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{ \log(x_i + b) \}^2$$

Dengan menggunakan $\bar{x}^2$ dan $\bar{x}_0^2$ maka $\frac{1}{c}$ dihitung dengan rumus:

$$\log x + b = \log(x_0 + b) + \delta$$

Tabel 3. 10 Variabel Normal δ yang sesuai dengan $W(x)$ Utama

T	$W(x) = 1/T$	δ	T	$W(x) = 1/T$	δ
500	0,00200	2,0352	30	0,03333	1,2971
400	0,00250	1,9840	25	0,04000	1,2379
300	0,00333	1,9227	20	0,05000	1,1631
250	0,00400	1,8753	15	0,06667	1,0614
200	0,00500	1,8214	10	0,10000	0,9062
150	0,00667	1,7499	8	0,12500	0,8134
100	0,01000	1,6450	5	0,20000	0,5951
80	0,01250	1,5851	4	0,25000	0,4769
60	0,01667	1,5049	3	0,33333	0,3045
50	0,02000	1,4522	2	0,50000	
40	0,02500	1,3859			

Keterangan:

X_s = harga pengamatan dengan nomor urutan m dari yang terbesar

X_t = harga pengamatan dengan nomor urutan m dari yang terkecil

N = banyaknya data

$M \sim \frac{n}{10}$ = angka bulat

W_x = kemungkinan terlampaui

δ = harga kemungkinan lebih sebarang

Tabel 3. 11 Mencari Harga $\bar{X}_0$ dan $\bar{X}^2$

No.	X_i	Log X_i	$X_i + b$	Log $(X_i + b)$	$\{\log (X_i + b)\}^2$
1	163	2,21219	187,93	2,27400	5,17106
2	152	2,218184	176,93	2,24700	5,05261
3	151	2,17898	175,93	2,24534	5,04155
4	150	2,17609	174,93	2,24286	5,03044
5	149	2,17319	173,93	2,4037	5,01928
6	148	2,17026	172,93	2,23787	5,00806
7	146	2,16435	170,93	2,23282	4,98548
8	145	2,16137	169,93	2,23027	4,97410
9	144	2,15836	168,93	2,22771	4,96268
10	130	2,11394	154,93	2,19014	4,79669
11	122	2,08636	146,93	2,16711	4,69637
12	120	2,07918	144,93	2,16116	4,67061
13	119	2,07555	143,93	2,15815	4,65762
14	117	2,06819	141,93	2,15207	4,63142
15	112	2,04922	136,93	2,13650	4,56463
16	95	1,97772	119,93	2,07893	4,32194
17	94	1,97313	118,93	2,07529	4,30683
18	93	1,96848	117,93	2,07162	4,29163
19	89	1,94939	113,93	2,05664	4,22976
20	88	1,94448	112,93	2,05281	4,21403
Jumlah		41,86227		43,47946	94,62679

$$\text{Log } x_0 = \frac{41,8623}{20} = 2,0931$$

$$x_0 = 123,91104$$

$$\bar{x}_0 = \frac{43,47946}{20}$$

$$= 2,173973$$

$$\bar{x}^2 = \frac{94,62679}{20}$$

$$= 4,7314$$

Selanjutnya merupakan perhitungan b dengan persamaan:



$$b_i = \frac{x_s \times x_t - x_0}{2 \times x_0 (x_s + x_t)}$$

dengan $m = \frac{20}{10} = 2$

Tabel 3. 12 Perhitungan b

No.	x_s	x_t	$x_s \cdot x_t$	$x_s + x_t$	$x_s \cdot x_t - x_0^2$	$2^2_0 - (x_s + x_t)$	b_i
1	163	88	14344	251	-1009,95	-3,18	+
2	152	89	13528	241	-1825,95	+ 6,82	317,59 -267,73
						Jumlah	+ 49,86

$$b = \frac{49,86}{2} = 24,93$$

$$\frac{1}{c} = \sqrt{\frac{2n}{n-1} \times (\bar{X}^2 - \bar{X}_0^2)}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 20}{20-1} \times (4,73134 - 2,173973)}$$

$$= 0,1044423$$

Tabel 3. 13 Perhitungan Curah Hujan Harian Yang Mungkin

PUH (Tahun)	Tabel 1.16	$\left(\frac{1}{c}\right)$	$\bar{x}_0 = \left(\frac{1}{c}\right)$ $= \log(x + b)$	a + b	X (mm/24jam)
	(1)	(2)	(3) $\bar{x}_0 +$ (2)	(4) = antilog	(5)
2	-	-	2,17397	149,27	124,34
5	0,5951	0,06215	2,23613	172,24	147,31
10	0,9062	0,09465	2,26862	185,62	160,69
25	1,2379	0,12929	2,30326	201,03	176,10
50	1,4522	0,15167	2,32564	211,66	186,73
100	1,6450	0,17181	2,34578	221,71	196,78

Sumber: Perhitungan.



Tabel 3. 14 HHM Gumbel, Log Pearson Type III dan Iwai

PUH (Tahun)	Curah Hujan Harian Maksimum (mm/24 jam)		
	GUMBEL	LOG PEARSON TYPE III	IWAI
2	122,3 ± 8,4	125,5	124,34
5	148,7 ± 16,0	147,8	147,31
10	166,2 ± 22,2	159,8	160,69
25	188,3 ± 30,4	172,8	176,10
50	204,6 ± 36,6	181,3	186,73
100	220,9 ± 42,7	188,8	196,78

Perbandingan Harga Curah Hujan antara Metoda Gumbel dan Metoda Log Perason Type III telah diuraika dalam subab 1.3.2. Dengan membandingkan pula hasil yang didapat dari perhitungan Metoda Iwai dan Gumbel, ternyata hasil perhiungan Iwai juga masih berada dalam interval hasil perhitungan Metoda Gumbel. Dilihat dari cara pendistribusiannya, cara Iwai menggunakan distribusi normal dengan merubah variabel distribusi asimetris dari kurva kemungkinan kerapatan.

Sedangkan Gumbel menggunakan secara langsung kurva asimetris kemungkinan kerapatan dengan jenis distribusi harga esktrim. Sehingga harga yang didapat dari kertas kemungkinan logaritma Gumbel lebih besar dari harga distribusi normal Iwai. Dalam perhiungan selanjutnya harga curah hujan yang dipilih adalah dari Metoda Gumbel.

Tabel 3. 15 Curah Hujan Harian Maksimum (HHM) Dari Perhitungan Metoda Gumbel Yang Dipakai Untuk Perencanaan Saluran Drainase Kota

PUH (TAHUN)	HHM (mm/24 jam)	PUH (TAHUN)	HHM (mm/24 jam)
2	122	25	188
5	149	50	205
10	166	100	221

3.4. POLA DISTRIBUSI CURH HUJAN PADA DURSIL 60 MENIT

Menurut Tanimoto yang disdasrkan penelitian Dr. Borema untuk daerah di Pulau Jawa, distriusi curah hujan setiap jam dapat diperkirakan sebagai berikut:

Tabel 3. 16 Pedoman Pola Hujan Tiap Jam Menurut Tanimoto

Jam ke	Hujan (mm)			
	170	130	350	470
1	87	90	96	101
2	28	31	36	42
3	18	20	26	31
4	11	14	20	25
5	8	11	16	22
6	6	9	14	20
7	6	8	13	19
8	4	7	12	18
9	2	5	10	15
10	-	5	10	15
11	-	4	9	14
12	-	4	9	14
13	-	4	9	14
14	-	4	9	14
15	-	3	8	12
16	-	3	8	11
17	-	3	7	13
18	-	3	7	13
19	-	2	7	13
20	-	-	7	11
21	-	-	7	11
22	-	-	6	11
23	-	-	4	10

Sumber: Iman Subarkah, Hidrologi untuk Perencanaan Bangunan Air, Idea Dharma, Bandung 1980

Perkiraan pola distribusi curah hujan ini dilakukan apabila data durasi hujan tidak ada, sehingga dalam mencari hubungan intensitas pada setiap durasi dilakukan secara empiris. Perumusan secara empiris didasarkan pada data curah hujan durasi 60 menit. Untuk data pengamatan hujan yang telah dianalisa berdasarkan metoda Gumbel, maka pola distribusi curah hujan harian unruk setiap jam, adalah sebagai berikut (hanya sampai ranking 1 jam ke 4).

Tabel 3. 17 Pada Distribusi HHM Perjam Menurut Rangkin I s/d Ke 4.

Rangking 1 Jam	HHM (mm/jam)					
	2 (122)	5(149)	10(166)	25(188)	50(205)	100(221)
1	62,59	76,10	85,60	87,92	88,73	89,55
2	20,14	24,49	27,37	29,92	29,73	30,55
3	12,95	15,75	17,60	18,61	19,15	19,70
4	1,91	9,62	10,75	11,92	12,73	13,55
Rata-Rata	25,90	29,33	35,20	36,84	37,59	38,34



Sumber: Hasil Perhitungan.

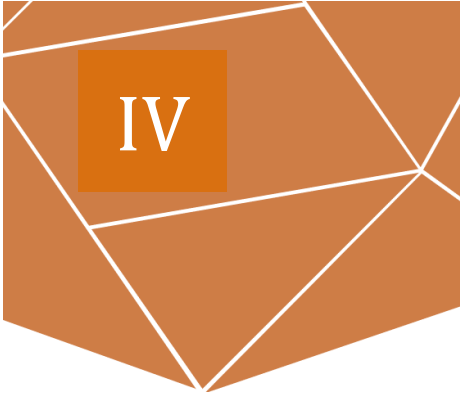
Keterangan: Lihat Tabel 3.16

$$\text{Rangking 1 jam} = \frac{87}{170} \times 122 = 62,59$$

$$\text{Rangking 2 jam} = \frac{28}{170} \times 122 = 20,14$$

$$\text{Rangking 3 jam} = \frac{18}{170} \times 122 = 12,95$$

$$\text{Rangking 4 jam} = \frac{11}{170} \times 122 = 7,91$$



BAB 4 ANALISA INTENSITAS CURAH HUJAN

Untuk mengolah at curah hujan menjadi intensitas curah hujan digunakan cara statistik dari data pengamatan durasi hujan yang terjadi. Apabila tidak dijumpai data untuk setiap durasi hujan, maka diperlukan pendekatan secara empiris dengan berpedoman pada durasi 60 menit (1 jam) dan pada curah hujan harian maksimum yang terjadi. Cara lain yang lazim dipakai, adalah mengambil pola intensitas hujan untuk kota lain yang mempunyai kondisi yang hampir sama. Dalam contoh ini dipakai **Rumus Bell, Van Breen dan Hasper & der Wednwen.**

4.1. RUMUS BELL

Untuk keperluan analisa frekuensi hujan harus tersedia data hujan selama selang waktu yang cukup panjang. Bila diketahui besarnya curah hujan 1 jam (60 menit) dengan perioda ulang 10 tahun sebagai dasar, maka suatu rumus empiris yang diberikan oleh Bell dapat dipakai untuk menentukan curah hujan dari 5-120 menit dengan perioda ulang 2-100 tahun. Hubungan ini diturunkan dari analisa curah hujan pada 157 stasiun di Amerika dan berdasarkan atas test statistik dapat dipergunakan diseluruh dunia. Hubungan ini dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$R_T^t = (0,21 \ln T + 0,52)(0,54 \times t^{0,25} - 0,50)R_T^t$$



Dimana =

R = curah hujan dalam mm

T = perioda ulang dalam tahun

t = durasi hujan dalam menit

Berdasarkan pola distribusi hujan menurut Pedoman Tanimoto, maka untuk data curah hujan harian maksimum (PUH 10 Tahun), akan digunakan harga rata-rata dari distribusi hujan 2 jam yang pertama, yaitu:

$$R_T^t = (R_{10 \text{ Tahun}}^{60 \text{ Menit}} = \frac{85,06 + 27,37}{2} = 56,22 \text{ mm}$$

Kemudian dengan menggunakan Rumus Bell, dicari harga I_T^t untuk $t = 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80$, dan 120 menit, masing-masing dengan PUH = $2, 5, 10, 25, 50$, dan 100 tahun.

Persamaan:

$$I_T^t = \frac{60}{t} R_T^t \text{ (mm/jam)} \quad (4.1)$$

Tabel 4. 1 Intensitas Hujan Menurut Rumus Bell

PUH (TAHUN) DURASI (MENIT)	Intensitas Hujan (mm/jam)					
	2	5	10	25	50	100
5	138,07	177,98	208,18	248,10	278,29	308,49
10	103,33	133,21	155,81	185,68	208,28	230,88
20	72,06	92,90	108,66	129,49	145,25	161,01
30	57,16	73,68	86,18	102,71	115,25	127,71
40	48,16	62,08	72,61	86,54	97,07	107,60
60	37,53	48,38	56,58	67,43	75,64	83,85
80	31,29	40,34	47,18	56,23	63,07	69,91
120	24,08	31,05	36,31	43,28	48,54	53,81

$$I_{25} = \frac{90\% \times 188}{4} = 42,3 \text{ mm/jam}$$

$$I_{50} = \frac{90\% \times 205}{4} = 46,13 \text{ mm/jam}$$



$$I_{100} = \frac{90\% \times 221}{4} = 49,73 \text{ mm/jam}$$

Intensitas hujan untuk Kota Jakarta dapat dilihat Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Intensitas Hujan Untuk Kota Jakarta

Durasi	Intensitas Hujan (mm/jam)				
	Untuk Periode Ulang (tahun)				
	2	5	10	25	50
5	126	148	155	180	191
10	114	126	138	156	168
20	102	114	123	135	144
40	76	87	96	105	114
60	61	73	81	91	100
120	36	45	51	58	63
240	21	27	30	35	40

Sumber: BUDP, Drainage Design or Bandung, 1978

Berdasarkan hasil perhitungan dan penggambaran bentuk kurva intensitas durasi yang digambarkan dengan kemiringan yang sama dengan kurva intensitas durasi Kota Jakarta, maka diperoleh kurva intensitas durasi untuk contoh soal diatas.

Tabel 4. 3 Intensitas Hujan Berdasarkan Metoda Van Breen

Durasi	Intensitas Hujan (mm/jam)				
	Untuk Periode Ulang (tahun)				
	2	5	10	25	50
5	165	184	193	218	220
10	149	156	172	189	194
20	133	142	153	163	166
40	99	108	120	127	131
60	80	91	101	110	115
120	47	56	63	70	73
240	27	33	37	42	46

Sumber: Hasil Pengolahan.

4.2. RUMUS HASPER DAN DER WEDUWEN

Metoda ini merupakan hasil penyelidikan di Indonesia yang dilakkan oleh Hasper dan Weduwen. Penurunan rumusnya diperoleh berdasarkan kecendrungan curah hujan harian dikelompokan atas dasar anggapan bahwa hujan mempunyai distribusi simetris dengan durasi hujan (t) lebih kecil dari 1 jam dan durasi hujan 1 jam sampai 24 jam.



Rumus yang digunakan:

- a. $1 < t < 24$, maka $R = \sqrt{\frac{11300}{t+3,12}} \left[\frac{x_t}{100} \right]$
- b. $0 < t < 1$, maka $R = \sqrt{\frac{11300}{t+3,12}} \left[\frac{R_1}{100} \right]$ Dan $R_1 = X_T \left[\left(\frac{1218}{X_T} \frac{t+54}{(1-t)+1272t} \right) \right]$

Dimana:

t = Durasi hujan (jam)

R, R_1 = Curah hujan menurut Hasper-Wesuduren (mm)

X_T = Curah hujan harian maksimum yang terpilih (mm)

Untuk menemukan intensitas hujan menurut Hasper dan Weduren menggunakan rumus sebagai berikut:

$$I = \frac{R}{t}$$

Dimana: I = Intensitas hujan intensitas hujan menurut Hasper dan Weduren (mm)

Hasil perhitungan menurut Hasper dan Weduren dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Intensitas Hujan Menurut Metooda Hasper dan Der Weduwen

Durasi	Intensitas Hujan (mm/jam)				
	Untuk Perioda Ulang (tahun)				
	2	5	10	25	50
5	268	304	315	324	329
10	180	214	231	245	257
20	122	150	163	180	191
40	79	101	112	125	136
60	61	80	89	99	108
120	40	52	58	63	68
240	24	31	35	38	40

Sumber: Hasil Pengolahan.

4.3. PEMILIHAN RUMUS INTENSITAS HUJAN

Dalam drainase Perkotaan, umumnya persamaan untuk menentukan debit pengaliran punck untuk setiap waktu t menit dan pada setiap periode ulang hujan T tahun, dipakai persamaan Rasional:

$$Q = \frac{100}{36} C_s C \Delta I \quad (4.2)$$

Pada persamaan ini, harga I , besarnya sangat berubah dari setiap peruahan t . Untuk itu, persamaan I terhadap variabel t diusahakan dengan bentuk



persamaan yang sederhana, yang umumnya memakai bentuk persamaan Tablot, Sherman dan Ishiguro. Dari hasil analisis curah hujan setelah diketahui harga I untuk $t = 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 120, 240$ menit menurut rumus Bell, Van Breen dan Hasper-der Weduwen tersebut di atas, kemudian masing-masing disubstitusikan kedalam rumus-rumus Tablot, Sherman dan Ishiguro, dengan metoda kuadrat terkecil (*Least Square*). Persamaan-persamaan menurut Tablot, Sherman dan Ishiguro dari setiap rumus (Bell, Van Breen dan Hasper-der Weduwen) yang didapat kemudian didistribusikan kembali harga-harga I t tersebut, kemudian dibandingkan dengan harga-harga I hasil analisis.

Persamaan yang mempunyai beda terkecil adalah yang TERPAKAI. Beberapa rumus intensitas curah hujan yang dihubungkan dengan hal-hal ini, telah disusun sebagai rumus-rumus eksperimental. Untuk hujan-hujan selama 5-240 menit, kebanyakan umum adalah dari *type* umum yaitu:

$$I = \frac{a}{t + b}$$

Rumus ini dikemukakan oleh Profesot Tablot dalam tahun 1981 dan disebut jenis Tablot. Rumus ini banyak digunakan karena mudah diterapkan, dimana tetapan-tetapan a dan b ditentukan dengan harga-harga yang diukur.

$$I = \frac{a}{t^n}$$

Rumus ini dikemukakan oleh Profesor Sherman dalam tahun 1905 dan disebut Jenis Sherman. Rumus ini mungkin sesuai untuk jangka waktu curah hujan yang lamanya lebih dari 2 jam.

$$I = \frac{a}{t + b}$$

Rumus ini dikemukakan oleh Dr. Ishiguro dalam tahu 1953.

Dalam rumus ($I = \frac{a}{t+b}$, $I = \frac{a}{t^n}$) sampai ($I = \frac{a}{t+b}$)

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

t = durasi hujan dalam menit

a, b, n = tetapan

Diagram persamaan dari ketiga rumus di atas, adalah Kurva Intensitas Durasi Rekuensi (IDF) Hujan. Cara perhitungan intensitas hujan dengan rumus-rumus Jenis I (Tablot), Jenis II (Sherman) dan Jenis III (Ishiguro) adalah dengan cara



Kuadrat Terkecil (*least square*), yang gunanya untuk menentukan harga dari tetapan-tetapan a, b, dan n. Cara perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Adakan pengamatan hujan dengan lama waktu $t_1, t_2, \dots, t_n$. ($n = 7 - 8$)
2. Harga-harga curah hujan yang diperoleh dihitung dalam perhitungan kemungkinan lebih. Kemudian dilakukan perhitungan intensitas curah hujan I (mm/jam) yang bersangkutan dengan ke-n harga t untuk setiap tahun kemungkinan.
3. Dengan menggunakan ke-n harga t dalam setiap tahun kemungkinan itu, hitung tetapan-tetapan dengan cara kuadrat terkecil.

Untuk butir 1 dan 2, dengan HHM Gumbel, I_t^1 menurut rumus Bell (Pedoman Tanimoto), Van Breen dan Hasper der Wedumen, diperoleh harga-harga intensitas hujan untuk nilai durasi t antara 5-240 menit, dengan $n = (7-8)$, sebagai yang tertera dalam tabel. Untuk butir 3, harga tetapan-tetapan, yaitu:

- Untuk Jenis I (Tablot)

$$I = \frac{a}{t + b}$$

$$a = \frac{\sum I_t \sum I^2 - \sum I^2 \sum I}{N \sum I^2 - (\sum I)^2}$$

$$b = \frac{\sum I_t \sum I^2 - \sum I^2 \sum I}{N \sum I^2 - (\sum I)^2}$$

- Untuk Jenis II (Sherman)

$$I = \frac{a}{t^n}$$

$$\text{Log } a = \frac{\sum \log I \sum (\log t)^2 - \sum \log t \log I \sum \log t}{N \sum (\log t)^2 - (\sum \log t)^2}$$

$$n = \frac{\sum \log I \sum \log t - \sum \log t \sum \log I}{N \sum (\log t)^2 - (\sum \log t)^2}$$

- Untuk Jenis III (Ishiguro)

$$I = \frac{a}{t + b}$$

$$I = \frac{\sum I \sqrt{t} \sum I^2 - I^2 \sqrt{t} \sum I}{N \sum I^2 - (\sum I)^2}$$

$$b = \frac{\sum I \sum I \sqrt{t} - N \sum I^2 \sqrt{t}}{N \sum I^2 - (\sum I)^2}$$

Dimana:

Σ = Jumlah angka-angka dalam tiap suku

N = Banyaknya data

Hasil perhitungan untuk memperoleh tetapan-tetapan adalah sebagai yang tertera pada tabel pengisian rumus Intensitasi Hujan untuk ketiga jenis di atas adalah sebagai yang tertera pada tabel.

Tabel 4. 5 Perhitungan 3 Jenis Persamaan Intensitas Hujan Dengan PUH = 2 Tahun Dari Rumus Bell

No.	t	I	I _t	I ²	I ² t	Log t	Log I
1	2	3	4	5	6	7	8
1	5	138,1	690,5	19071,61	95358,05	0,69897	2,14019
2	10	109,3	1030,5	10670,89	106708,9	1,00000	2,01410
3	20	72,1	1442	5198,41	103968,2	1,30103	1,85794
4	30	57,2	1716	3271,84	98155,2	1,47711	1,75740
5	40	48,2	1928	2323,24	92929,6	1,60206	1,68305
6	60	37,2	2250	1406,25	93030,4	1,77815	1,57054
7	80	31,2	2504	979,69	78375,2	1,90309	1,49276
8	120	24,2	2892	580,81	70276,8	2,07918	1,38382
Σ		511,6	14452,8	43502,74	728802,35	11,83959	13,8998

Lanjutan Tabel 4.5

No.	Log t Log I	(Log t) ²	$\sqrt{t}$	I $\sqrt{t}$	I ² $\sqrt{t}$
	9	10	11	12	13
1	1,49593	0,48856	2,23607	308,80	42645,42
2	2,01410	1,0000	3,16228	326,66	33744,32
3	2,41783	1,69268	4,47214	322,44	23248,00
4	2,59587	2,18189	5,47723	313,30	17920,61
5	2,69634	2,56660	6,32456	304,84	14693,46
6	2,79266	3,16182	7,74597	288,15	10719,18
7	2,84616	3,62175	8,94427	279,96	8762,61
8	2,87720	4,32299	10,95445	265,10	6415,36
Σ	19,73549	19,03629		2409,25	158148,96

$$\text{Jenis I (Tablot) } I = \frac{a}{t+b} \quad a = \frac{14452,8 \times 43502,74 - 728802,35 \times 511,6}{8 \times 43502,74 - (511,6)^2}$$



$$\begin{aligned}
 &= \frac{2,55881 \times 10^8}{348021,92 \times 261734,56} \\
 &= \frac{2,55881 \times 10^8}{86287,36} \\
 &= 2965,4517 \\
 b &= \frac{511,6 \times 14452,8 - 8 \times 728802,35}{8 \times 43502,74 - (511,6)^2} \\
 &= \frac{7394052,5 \times 5830418,8}{348021,92 \times 261734,56} \\
 &= \frac{1563633,7}{86287,36} \\
 &= 18,121237
 \end{aligned}$$

Jadi persamaannya adalah $I = \frac{2965}{t+18}$

$$\begin{aligned}
 \text{Jenis I} = \frac{a}{t^n} \log a &= \frac{13,8998 \times 19,03629 - 19,73549 \times 11,83959}{8 \times 19,03629 - (11,83959)^2} \\
 &= \frac{264,600062 \times 233,66011}{152,29032 \times 140,17589} \\
 &= \frac{30,940514}{12,114429} \\
 &= 2,554021 \\
 n &= \frac{13,8998 \times 11,83959 - 8 \times 19,73549}{8 \times 19,03629 - (11,83959)^2} \\
 &= \frac{164,56793 - 157,88392}{52,29032 - 140,17589} \\
 &= \frac{6,6840131}{12,114429} \\
 &= 0,5517398
 \end{aligned}$$

Jadi persamaannya adalah $I = \frac{358}{t^{0,55}}$

Tabel 4. 6 Perhitungan 3 Jenis Persamaan Intensitas Hujan Dengan PUH = 5
Tahun Dari Rumus Van Breen

No. 1	t 2	I 3	I _t 4	I ² 5	I ² t 6	Log t 7	Log I 8
1	5	184	920	33856	169280	0,69897	2,26482
2	10	156	1560	24336	243360	1,00000	2,19312
3	20	142	2840	20164	403280	1,30103	2,15229
4	30	108	4320	11664	466560	1,60206	2,03342



No. 1	t 2	I 3	I _t 4	I ² 5	I ² t 6	Log t 7	Log I 8
5	40	91	5460	8281	496860	1,77815	1,95904
6	60	56	6720	3136	376320	2,07918	1,74819
7	80	33	7920	1089	261360	2,38021	1,51851
Σ		770	29740		102526	10,8396	13,86939

Lanjutan Tabel 4.6

No.	Log t Log I 9	(Log t) ² 10	√t 11	I/√t 12	I ² /√t 13
1	1,58304	0,48856	2,23607	411,43651	75704,317
2	2,19312	1,00000	3,16228	493,31531	76957,189
3	2,80019	1,69268	4,47214	635,04331	90176,149
4	3,25767	2,56660	6,32456	683,05197	73769,149
5	3,48347	3,16182	7,74597	704,88297	64144,350
6	3,63480	4,32299	10,95445	613,44926	34353,159
7	3,61436	5,68541	15,49193	541,23380	16670,715
Σ	20,56667	18,89806		4052,4131	431975,49

Tabel 4. 7 Mencari Delta Terkecil Dari Ketiga Jenis Persamaan

1 No.	2 t	3 I (Data)	14 I (Tablot)	15 3-14 Δ ₁	16 I (Sherman)	17 3-16 Δ ₂	18 I (Ishiguro)	19 3-18 Δ ₃
1	5	184	180	4	223	39	221	37
2	10	156	164	8	165	9	169	13
3	20	142	140	2	123	19	127	15
4	40	108	108	0	91	17	94	14
5	60	91	88	3	77	14	78	13
6	120	56	57	1	57	1	57	1
7	240	33	33	0	42	9	41	8
				18 Δ _{1r} =2,57		108 Δ _{2r} =15,43		101 Δ _{3r} =14,43

Ternyata Delta yang terkecil adalah Δ_{1r}=2,57.

Jadi persamaan yang digunakan adalah $I_5 = \frac{9521}{t+48}$

$$\begin{aligned}
 \text{Jenis I} &= \frac{a}{t+b} \quad a = \frac{32325 \times 204209 - 3235815 \times 1003}{7 \times 204209 - (1003)^2} \\
 &= \frac{3,35553 \times 10^9}{423454} \\
 &= 7924,1983 \\
 b &= \frac{1003 \times 65625 - 7 \times 3235815}{7 \times 204209 - (1003)^2} \\
 &= \frac{9771270}{423454} \\
 &= 23,075163
 \end{aligned}$$

Jadi persamaannya adalah $I_{10} = \frac{7924}{t+23}$

$$\begin{aligned}
 \text{Jenis I} &= \frac{a}{t^b} \log a = \frac{14,38022 \times 18,89806 - 21,07895 \times 10,8396}{7 \times 18,89806 - (10,8396)^2} \\
 &= \frac{43,270874}{14,789492} \\
 &= 2,925785 \\
 a &= 842,91743
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{14,38022 \times 10,8396 - 7 \times 21,07895}{7 \times 18,89806 - (10,8396)^2} \\
 &= \frac{8,231827}{14,789492} \\
 &= 0,5627767
 \end{aligned}$$

Jadi persamaannya adalah $I_{10} = \frac{843}{t^{0,56}}$

$$\begin{aligned}
 \text{Jenis I} &= \frac{a}{t+b} \quad a = \frac{4739,1228 \times 204209 - 876754,74 \times 1003}{7 \times 204209 - (1003)^2} \\
 &= \frac{88386524}{423454} \\
 &= 208,7257 \\
 b &= \frac{1003 \times 4739,1228 - 7 \times 876754,74}{7 \times 204209 - (1003)^2} \\
 &= \frac{-1383943}{423454} \\
 &= -3,2682251
 \end{aligned}$$

Jadi persamaannya adalah $I = \frac{209}{\sqrt[n]{n}-3}$

Tabel 4. 8 Mencari Delta Terkecil Dari Ketiga Jenis Persamaan

1	2	3	14	15	16	17	18	19
No.	t	I (Data)	I (Tablot)	3-14 Δ_1	I (Sherman)	3-16 Δ_2	I (tshiguro)	3-18 Δ_3
1	5	315	284	32	342	27	-274	589
2	10	231	240	9	232	1	1288	1057
3	20	163	184	21	157	6	142	21
4	40	112	126	14	107	5	63	49
5	60	89	95	6	85	4	44	45
6	120	58	55	3	58	0	26	32
7	240	35	30	5	39	4	17	18
				18 $\Delta_{1r}=12,86$		108 $\Delta_{2r}=6,71$		101 $\Delta_{3r}=258,71$ (tidak mungkin)

Ternyata Delta yang terkecil adalah $\Delta_{2r} = 6,71$.

Jadi persamaan yang digunakan adalah $I_{10} = \frac{843}{t^{0,56}}$



4.4. RUMUS INTENSITAS CURAH HUJAN YANG DIGUNAKAN

Dari ketiga Rumus Intensitas Hujan untuk durasi dan Periode Ulang tertentu, akan dilakukan pemilihan untuk memperoleh satu Rumus Intensitas Hujan yang akan digunakan dalam perhitungan besarnya limpasan permukaan (*run off*) pada perencanaan Penyaluran Air Hujan Kota. Dalam pemilihan salah satu Rumus Intensitas Hujan ini, maka dilakukan perhitungan intensita hujan berdasarkan ketiga jenis rumusan yang diperoleh.

Perhitungan dilakukan untuk durasi dan periode ulang yang sama dengan intensitas hujan yang telah dihitung berdasarkan Rumus Bell, Van Breen dan Hasper der Weduren untuk ketiga jenis rumus tersebut, harga Intensitas Hujannya adalah sebagai yang tertera pada Tabel 1.24, 1.26 dan 1.27. Selanjutnya perhitungan untuk menentukan standar deviasi antarA harga intensitas hujan yang dihitung berdasarkan ketiga jenis Rumus Intensitas Hujan dengan yang telah dihitung berdasarkan ketiga rumus diatas, untuk durasi dan periode ulang yang sam. Sebagai hasil perhitunngan akhir, diperoleh Harga Deviasi Rata-rat ($M(a) = a$) untuk masing-masing jenis Persamaan Intensitas Hujan sebagai yang tertera pada Tabel 1.28 dan 1.29. Dari hasil Deviasi Rata-rata terkecil yang diperoleh untuk masing-masing Jenis Rumus Intensitas Hujan, terlihat bahwa Bell Jenis II (Persamaan Sherman), Van Breen → Jenis I (Persamaan Talbot) dan Hasper – der Weduwen.

a. Ulasan Pemakaian Rumus Bell

Pengalaman menunjukkan bahwa jika untuk mencari I_T^t setiap durasi memaka}i persamaan Bell, maka selalu didapat persamaan Sherman (sebetulnya persamaan Bell langsung bisa diigunakan, hanya untuk lebih sederhananya bentuknya, ditransfer ke persamaan yang leih sederhana, yaitu Persamaan Sherman).

Untuk mencari persamaan dengan PUH yang lain, langsung dengan persamaan Sherman sebagai berikut:

$$I = \frac{a}{t^n} \{ \text{Harga n praktis dianggap tetap, sehingga hanya perlu 1 persamaan saja} \}$$

$$\log I = \log a - \log t$$



Untuk memilih harga t , dicari harga t yang memberikan delta yang terkecil. Pada Tabel 1.30 dan 1.31 harga t adalah untuk $t = 60$ menit. Harga I_T^{60} perlu dikoreksi dahulu dengan ΔI nya yang sebanding dengan I yang telah dicari persamaannya.

$$\text{Untuk } I_5^{60}, \Delta I_5 = \frac{48,38}{37,53} \times 0,5 = 0,64 \rightarrow I_{5,s}^{60} = 49,02 \text{ mm/jam}$$

$$I_{10}^{60}, \Delta I_{10} = \frac{56,58}{37,53} \times 0,5 = 0,75 \rightarrow I_{10,s}^{60} = 57,33 \text{ mm/jam}$$

$$I_{25}^{60}, \Delta I_{25} = \frac{67,43}{37,53} \times 0,5 = 0,90 \rightarrow I_{25,s}^{60} = 68,33 \text{ mm/jam}$$

$$I_{50}^{60}, \Delta I_{50} = \frac{75,64}{37,53} \times 0,5 = 1,00 \rightarrow I_{5,s}^{60} = 76,64 \text{ mm/jam}$$

$$I_{100}^{60}, \Delta I_{100} = \frac{83,85}{37,53} \times 0,5 = 1,12 \rightarrow I_{5,s}^{60} = 84,97 \text{ mm/jam}$$

Harga $n = 0,5517398$ dianggap tetap

$$\begin{aligned} \log a_5 &= \log I_{5,s} + n \log t \\ &= \log 49,02 + 0,5517398 \log 60 \\ &= 2,67145 \\ a_5 &= 469,23 \end{aligned}$$

Demikian untuk mencari a_{10} , a_{25} , a_{50} dan a_{100} identik seperti diatas:

$$\begin{aligned} a_{10} &= 548,86 \\ a_{25} &= 654,17 \\ a_{50} &= 733,72 \\ a_{100} &= 813,47 \end{aligned}$$

Jadi persamaan Intesitas hujan menurut Sherman adalah

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{358}{t^{0,55}} \\ I_5 &= \frac{469}{t^{0,55}} \\ I_{10} &= \frac{549}{t^{0,55}} \\ I_{50} &= \frac{654}{t^{0,55}} \\ I_{50} &= \frac{734}{t^{0,55}} \end{aligned}$$



$$I_{100} = \frac{813}{t^{0,55}}$$

b. Ulasan Pemakaian Rumus Van Breen

Pada penggunaan Rumus Van Breen, berdasarkan pola hujan Jakarta, distribusinya mempunyai kecenderungan mendekati pola grafik dari persamaan Talbot, sehingga setiap penggunaan rumus Van Breen untuk mencari kurva Intensitas Durasu Frekuensinya (IDF), selalu langsung memakai persamaan Talbot.

Untuk mencari persamaan dengan PUH yang lain dari jenis Talbot:

$$I = \frac{a}{t + b}$$

Dimana harga konstanta a dan b dicari dari persamaan, dengan mensubstansikan harga-harga I^t yang mempunyai delta paling kecil yang sudah dikoreksi dengan harga deltanya masing-masing. Dalam Tabel 1.30 terlihat bahwa untuk I^{40} dan I^{240} mempunyai delta masing-masing = 0, sehingga harganya langsung dapat dimasukkan kedalam 2 persamaan tersebut sebagai berikut:

$$I_2^{40} = 99 = \frac{a}{t + b} \rightarrow 99 \times 40 + 99b = a$$

$$I_2^{240} = 27 = \frac{a}{t + b} \rightarrow 27 \times 240 + 99b = a$$

$$72b = 2520$$

$$b = 35$$

$$a = 7425$$

Jadi $a_2 = 7425$ dan $b_2 = 35$, persamaan: $I_2 = \frac{7425}{t+35}$

Demikian pula untuk mencari harga-harga a dan b pada PUH lainnya.

$$a_{10} = 10699; b_{10} = 49 \rightarrow I_{10} = \frac{10699}{t+49}$$

$$a_{25} = 12551; b_{25} = 59 \rightarrow I_{25} = \frac{12551}{t+59}$$

$$a_{50} = 14179; b_{50} = 68 \rightarrow I_{50} = \frac{14179}{t+68}$$

c. Ulasan Pemakaian Rumus Hasper - Der Wedumen

Pada pemakaian rumus ini, hampir sama dengan pemakaian rumus Bell, selalu ditransfer ke persamaan Sherman. Rumus Hasper - der Wedumen kurang praktis untuk dipakai dalam persamaan Rasional, sehingga dicari



bentuk yang lebih sederhana. Dalam hal ini persamaan yang paling mendekati dengan cara pada ulasan Rumus Bell.

$I_T = \frac{a_T}{t^n}$, dimana harga n praktis dianggap tetap, sehingga hanya perlu 1

persamaan saja

$$\log I_T = \log a_T - n \log t$$

Dipilih harga I_T^t yang mempunyai deta terkecil.

Pada Tabel 1.31, delta yang terkecil adalah untuk $t=120$ menit yaitu $\Delta I^{120} = 0$. Sehingga harga I_T^{120} tidak perlu di koreksi kembali.

Harga I_T^{120} yang digunakan adalah:

$$I_2^{120} = 40 \text{ mm/jam}$$

$$I_5^{120} = 52 \text{ mm/jam}$$

$$I_{25}^{120} = 63 \text{ mm/jam}$$

$$I_{50}^{120} = 68 \text{ mm/jam}$$

Perhitungan:

$$n = 0,5627767 \text{ (dianggap tetap)}$$

$$\log 40 = \log a_2 - 0,5627767 \log 120$$

$$\log a_2 = 0,5627767 \log 120 + \log 40$$

$$a_2 = 591,79971$$

Jadi persamaannya adalah $I_2 = \frac{592}{t^{0,56}}$

Demikan pula selanjutnya untuk mencari untuk mencari a_T pada PUH lainnya:

$$a_{10} = 769,33963 ; \text{persamaan: } I_{10} = \frac{769}{t^{0,56}}$$

$$a_{25} = 932,08455 ; \text{persamaan: } I_{25} = \frac{932}{t^{0,56}}$$

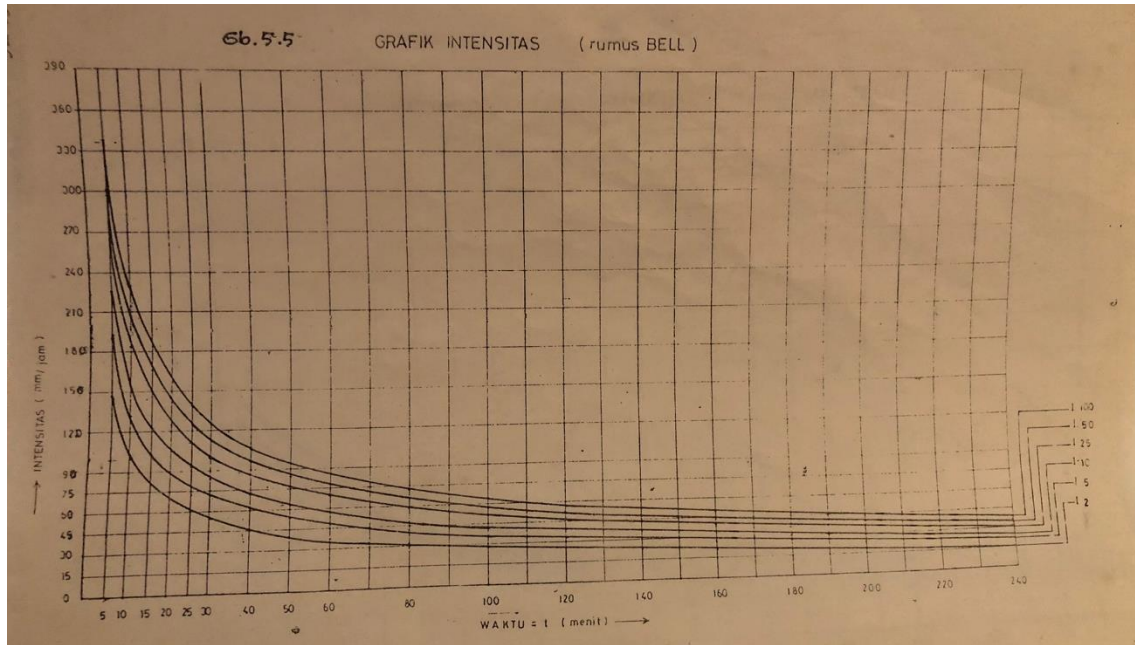
$$a_{50} = 1006,0595 ; \text{persamaan: } I_{50} = \frac{1006}{t^{0,56}}$$



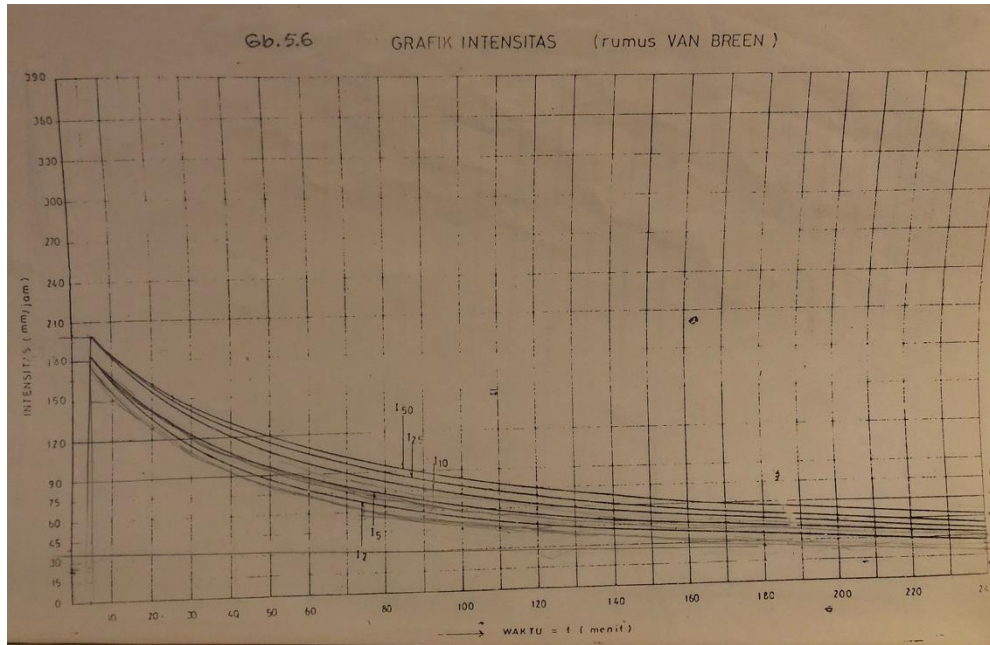
Tabel 4. 9 Pemindahan Persamaan Yang Cocok dari Rumus Bell, Van Breen dan Hasper - der Wedumen Berbentuk Persamaan Yang Sederhana

PUH (TAHUN)	BELL KE SHERMAN	VAN BREEN KE TALBOT	HASPER VER WEDUMEN KE SHERMAN
2	$I_2 = \frac{358}{t^{0,55}}$	$I_2 = \frac{7452}{t + 35}$	$I_2 = \frac{592}{t^{0,56}}$
5	$I_5 = \frac{469}{t^{0,55}}$	$I_5 = \frac{9521}{t + 48}$	$I_5 = \frac{769}{t^{0,56}}$
10	$I_{10} = \frac{549}{t^{0,55}}$	$I_{10} = \frac{10699}{t + 49}$	$I_{10} = \frac{843}{t^{0,56}}$
25	$I_{25} = \frac{654}{t^{0,55}}$	$I_{25} = \frac{12551}{t + 59}$	$I_{25} = \frac{932}{t^{0,56}}$
50	$I_{50} = \frac{734}{t^{0,55}}$	$I_{50} = \frac{14179}{t + 68}$	$I_{50} = \frac{1006}{t^{0,56}}$
100	$I_{100} = \frac{813}{t^{0,55}}$	-	-

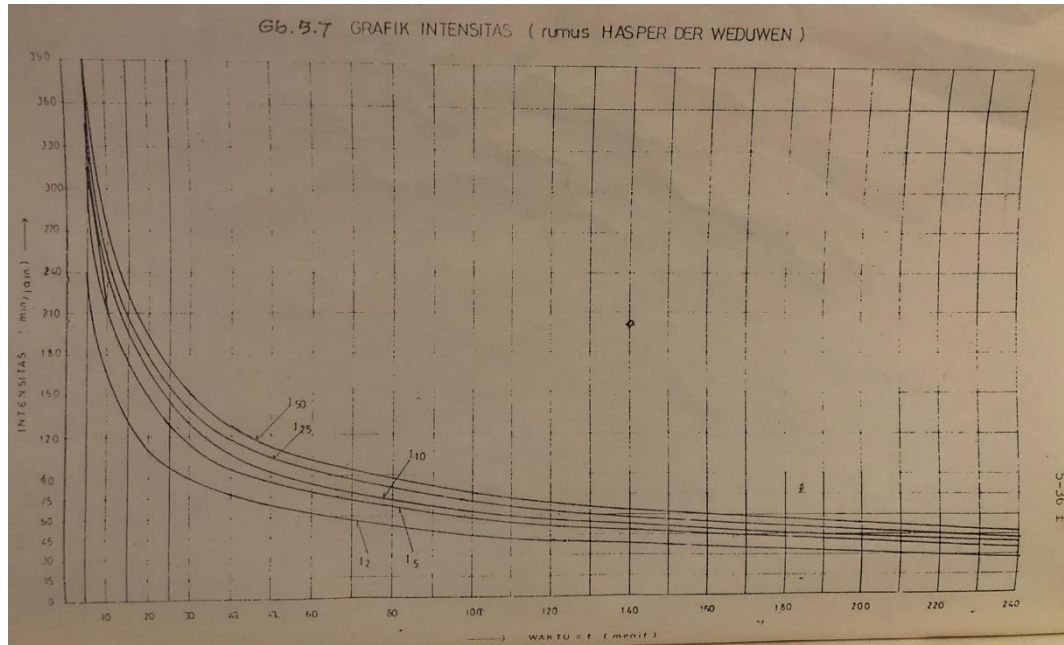
Sumber: hasil perhitungan dari data contoh soal



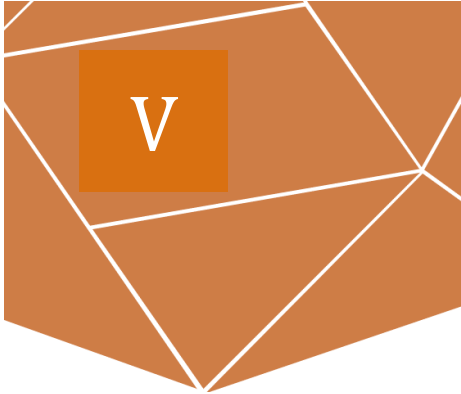
Gambar 4. 1 Grafik Intensitas (Rumus Bell)



Gambar 4. 2 Grafik Intensitas (Rumus Van Breen)



Gambar 4. 3 Grafik Intensitas (Rumus Hasper Der Wedumen)



BAB 5 CONTOH SOAL

Daerah Aliran Saluran (DAS) seperti disajikan pada Gambar 5.1

Luas total = 63 Km² terbagi menjadi:

- DAS Cikucing = daerah permukiman elite, dipengaruhi data hujan dari Stasiun A, mengalir Sungai Cikucing dari awal

$A = 16 \text{ Km}^2$	$S_o = 0,08$
$C_5 = 0,3$	$L_{ck3} = 6,72 \text{ Km}$
$L_o = 200 \text{ M}$	$P_{uh} = 5 \text{ Tahun}$
- DAS Citikus = daerah industri, dipengaruhi data hujan dari Stasiun B, mengalir Sungai Citikus dari awal

$A = 8 \text{ Km}^2$	$S_o = 0,07$
$C_5 = 0,55$	$L_{otk} = 5,85 \text{ Km}$
$L_o = 200 \text{ M}$	$P_{uh} = 10 \text{ Tahun}$
- DAS Cilandak = daerah permukiman mediun dan *slum*, dipengaruhi data hujan dari Stasiun C, mengalir Sungai Cilandak = terusan pertemuan Sungai Cikucing dan Citikus. Sungai Cilandak ini akhirnya bertemu dengan Sungai Cimacan di muara.

$A = 13,5 \text{ Km}^2$	$L_{cld} = 7,64 \text{ Km}$
$C_5 = 0,4$	$P_{uh} = 5 \text{ Tahun}$
- DAS Cimacan = daerah hijau II, dipengaruhi data hujan dari Stasiun C, mengalir Sungai Cimacan hilir, lanjutan dari DAS Cimacan bagian atas.



$$A = 13,5 \text{ Km}^2$$

$$L_{cmc II} = 10,08 \text{ Km}$$

$$C_5 = 0,2$$

$$P_{uh} = 5 \text{ Tahun}$$

Dalam perhitungan perencanaan bangunan drainase soal ini durasi hujan maksimum: $t_{\max} = 3$ jam ; dan untuk DAS dengan $t_c > 3$ jam, maka luas DAS yang memberi aliran:

$$A_p = \frac{t_{\max}}{t} A.$$

Diketahui kecepatan aliran rata-rata saluran jalur sungai untuk debit puncak pada perioda ulang hujan (PUH) = 5 tahun, adalah $V_5 = 1,50$ m/dt.

DITANYAKAN:

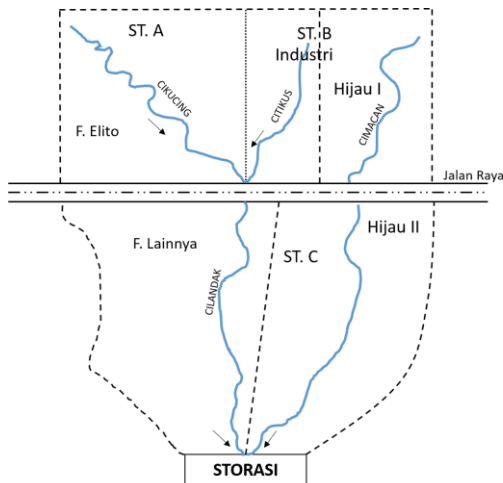
1. Debit rencana (m/dt) dan dimensi Profil Basah:
Kedalaman air (d), lebar dasar (b), dan lebar atas (B) dengan ukuran meter, dimana diambil harga $m = \text{ctg} = 0,58$ (profil hidrolis optimum), pada:
 - a. Titik tepat sebelum pertemuan antara sungai Cikucing dengan Citikus, di
 - i) Muara Cikucing
 - ii) Muara Citikus
 - b. Titik tepat pada:
 - i) Pertemuan Cikucing dengan Citikus
 - ii) Gorong-gorong (dibuat profil segi empat) PUH = 10 tahun
2. Debit rencana (m/dt) d, b, dan B (M) dengan $m = 0,58$ pada:
 - a. Titik tepat sebelum pertemuan antara Sungai Cilandak dengan Cimacan, di:
 - i) Muara Cilandak
 - ii) Muara Cimacan
 - b. Titik tepat pada:
 - i) Pertemuan Cilandak dan Cimacan
3. Storasi dihitung untuk PUH = 10 tahun
 - a. Luas storasi (H_a) pada ujung pertemuan Cilandak dan Cimacan (dilihat pada gambar)
 - b. Jika ujung pertemuan Cikucing dan Citikus juga diberi storasi , dengan debit pemompaan juga = $5 \text{ m}^3/\text{detik}$, maka hitung luas storasi (H_a) pada:



- i) Pertemuan Cikucing dan Citikus
- ii) Pertemuan Cilandak dan Cimacan

DIKETAHUI:

- Lihat catatan anda, jawaban soal ujian yang lalu
- $R^{24} = \frac{1240 \times 4}{90\%} \text{ mm}$; $R^3 = 78\% \times R^{24} \text{ mm}$
- Tinggi storasi rata-rata = 3 m
- t_0 (Cilandak) = 16 menit.



Gambar 5. 1 Soal Drainase

KETERANGAN =

- — — — — = Batas DAS dan Sub DAS : Luas DAS total = 63 Km²
- +++++ = Batas POLYGON dan Sub DAS : Luas Daerah Industri = 8 Km²
- G = Gorong-gorong : Luas Jalur Hijau I = 12 Km²
- Luas Jalur Hijau II = 13,5 Km²

Luas Permukiman elite = 16 Km²

Luas Permukiman Lainnya = 13,5 Km²

DIKETAHUI: Pesamaan Intensitas Hujan Type Talbot, sebagai berikut:

Stasiun A	Stasiun B	Stasiun C
$I_2 = 600/(t+20)$	$I_2 = 550/(t+20)$	$I_2 = 500/(t+20)$



$$I_5 = 750/(t+20)$$

$$I_{10} = 1000/(t+20)$$

$$I_5 = 700/(t+20)$$

$$I_{10} = 950/(t+20)$$

$$I_5 = 650/(t+20)$$

$$I_{10} = 900/(t+20)$$

JAWABAN SOAL PERHITUNGAN

1. a - PERHITUNGAN CIKUCING (ST.A)

$$t_{ds} = \frac{3,26 (1,1 - 0,3) 150^{3/2}}{8^{1/3}} = 16 \text{ menit}$$

$$t_{ds} = \frac{6720}{1,5} = 4.480 \text{ detik} = 75 \text{ menit}$$

$$t_{c5} = (16 + 75) = 91 \text{ menit}$$

$$t_{s.5} = \frac{2 \times 91}{2 \times 91 + 75} = 0,71$$

$$Q_5 = \frac{100}{36} \times 0,71 \times 0,3 \times 1.600 \times \frac{710}{91 + 20} = 6399,47 \text{ liter/detik}$$

$$= 6,40 \text{ m}^3$$

$$m = 0,58 \rightarrow d = 0,7598 \sqrt{\frac{6,40}{1,50}} = 1,57 \text{ m}$$

$$b = 0,8574 \sqrt{\frac{6,40}{1,50}} = 1,77 \text{ m}$$

$$B = 1,7567 \sqrt{\frac{6,40}{1,50}} = 3,63 \text{ m}$$

- PERHITUNGAN CITIKUS (ST.B)

$$t_{05} = \frac{3,26 (1,1 - 0,55) 200^{3/2}}{7^{1/3}} = 13 \text{ menit}$$

$$t_{d5} = \frac{5.850}{1,50} = 3900 \text{ detik} = 65 \text{ menit}$$

$$t_{c5} = (13 + 65) = 78 \text{ menit}$$

$$t_{c.10} = \frac{2 \times 78}{2 \times 78 + 75} = 0,71 \text{ untuk } c_{s.10} \text{ tetap sama} = 0,71$$

$$t_{s.10} = 78 \left(\frac{700}{950} \right)^{2/3} = 64 \text{ menit}$$

$$t_{d.10} = \frac{64}{78} \times 65 = 53 \text{ menit}$$



$$c_{10} = 1 - (1 - 0,55) \sqrt{\frac{700/(78 + 20)}{900/(64 + 20)}} = 0,65$$

$$Q_{d10} = \frac{100}{78} \times 0,71 \times 0,65 \times 800 \times \frac{950}{64 + 20} = 11.598,545 \text{ liter/detik}$$

$$= 11,6 \text{ m}^3/\text{dt.}$$

$$v_5 = 1,50 \text{ m/dt} \quad v_{10} = \frac{65}{53} \times 1,50 = 1,84 \text{ m/dt}$$

$$m = 0,58 \rightarrow d = 0,7598 \sqrt{\frac{11,6}{1,84}} = 1,91 \text{ m}$$

$$b = 0,8574 \sqrt{\frac{11,6}{1,84}} = 2,15 \text{ m}$$

$$B = 1,7567 \sqrt{\frac{11,6}{1,84}} = 4,41 \text{ m}$$

- PERTEMUAN CIKUCING DENGAN CITIKUS (ST.B)

$$t_{p5} = \frac{(91 \times 0,3 \times 16 \times 6,87) + (78 \times 0,55 \times 8 \times 6,05)}{(0,3 \times 16 \times 6,87) + (0,55 \times 8 \times 6,05)} = 85 \text{ menit}$$

$$I_{r(5)} = \left(\frac{16 \times 750 \times 8 \times 700}{16 + 8} \right) \div (t + 20) = \frac{733,33}{t + 20} \text{ mm/jam}$$

$$I_{r(10)} = \left(\frac{16 \times 1.000 \times 8 \times 950}{16 + 8} \right) \div (t + 20) = \frac{983,33}{t + 20} \text{ mm/jam}$$

$$t_{c10} = 85 \left(\frac{733,33}{983,33} \right)^{\frac{2}{3}} = 70 \text{ menit}$$

$$c_{sr} = \frac{\Sigma C_S CA}{\Sigma CA} \quad C_{pE10} = 91 \left(\frac{750}{1000} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$C_{pE10} = 1 - (1 - 0,3) \frac{750/(91 + 20)}{1.000/(75 + 20)} = 0,44$$

$$C_{L10} = 0,65$$

$$c_{sr} = \frac{0,71 \times 0,44 \times 16 + 0,71 \times 0,65 \times 8}{0,44 \times 16 + 0,65 \times 8} = 0,71$$

$$Q_{10} = \frac{100}{36} \times 0,71 (0,44 \times 1.600 + 0,65 \times 800) \frac{983,33}{70 + 20} = 26,38 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$\text{gorong} - \text{gorong} = 0$$



$$d = 0,7071 \sqrt{\frac{26,38}{1,84}} = 2,68 \text{ m}$$

$$b = 2 \times 2,59 = 5,36 \text{ m}$$

- CILANDAK: Pengaruh ST.A, B dan C

$$t_{d5} = \frac{7640}{1,5} = 5093 \text{ detik} = 85 \text{ menit}$$

$$t_{c5} = 85 + 85 = 170 \text{ menit}$$

$$I_{r(5)} = \frac{(16 \times 750) + (8 \times 700) + (13,5 \times 650)}{16 + 8 + 13,5} / (t + 20)$$

$$= \frac{703,33}{t + 20}$$

$$c_{sr} = 0,72 = \frac{2 t_c}{2 t_c + t_d} = \frac{2 \times 85}{2 \times 85 + t_d} \quad t_d = 69 \text{ menit (Eoivalen) Atas}$$

$$t_{d5 \text{ (total)}} = 85 + 69 = 154 \text{ menit}$$

$$c_s = \frac{2 \times 170}{2 \times 170 + 154} = 0,68$$

$$Q_5 = \frac{100}{36} \times 0,68 ((0,3 \times 1.600) + (0,55 \times 800) + (0,4 \times 1350)) \frac{703,33}{170 + 20}$$

$$= 10,36 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$m = 0,58 \rightarrow d = 0,7596 \sqrt{\frac{10,36}{1,5}} = 2,00 \text{ m}$$

$$b = 0,8574 \sqrt{\frac{10,36}{1,5}} = 2,25 \text{ m}$$

$$B = 1,7567 \sqrt{\frac{10,36}{1,5}} = 4,62 \text{ m}$$

- CIMACAN:

$$t_0 = \frac{3,26 (1,1 - 0,2) 100^{1/2}}{6^{1/3}} = 16 \text{ menit}$$

$$I_{r(5)} = \left(\frac{12 \times 700 + 13,5 \times 650}{12 + 13,5} \right) / (t + 20)$$

$$= \frac{673,53}{t + 20}$$



$$t_d = \frac{10080 + 6340}{1,50} = 10.946,6785 \sim 182 \text{ menit}$$

$$t_c = (16 + 182) = 198 \text{ menit}$$

$$c_s = \frac{2 \times 182}{2 \times 182 + 192} = 0,69$$

$$t_p = 180 \text{ menit}$$

$$A_p = \frac{t_p}{t} A = \frac{180}{198} \times 25,5 = 23,181818 \text{ Km}^2 = 2318,2 \text{ Ha}$$

$$Q_5 = \frac{100}{36} \times 0,69 \times 0,2 \times 2318,2 \times \frac{703,33}{170 + 20}$$

$$= 2.992,64 \text{ l/detik} = 2,99 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$m = 0,58 \rightarrow d = 0,7596 \sqrt{\frac{2,99}{1,5}} = 1,07 \text{ m}$$

$$b = 0,8574 \sqrt{\frac{2,99}{1,5}} = 1,21 \text{ m}$$

$$B = 1,7567 \sqrt{\frac{2,99}{1,5}} = 2,48 \text{ m}$$

- PERTEMUAN CILANDAK DENGAN CIMACAN

$$t_c = \frac{\sum C_s CA}{\sum CA}$$

$$c_r = \frac{(16 \times 0,3) + (8 \times 0,55) + (13,5 \times 0,5)}{16 + 8 + 13,5} = 0,39$$

$$t_c = \frac{(170 \times 0,39 \times 16 \times L_E) + (198 \times 0,2 \times 21 \times 16.520)}{0,39 \times 37,5 \times L_E + 0,2 \times 21 \times 16.520}$$

- SEBELUM PERTEMUAN CIKUCING DENGAN CITIKUS

$$L_E = \frac{(91 \times 0,3 \times 16 \times 6.870) + (78 \times 0,55 \times 8 \times 6.050)}{91 \times 0,3 \times 16 + 78 \times 0,55 \times 8} = 6509 \text{ m}$$

$$L_E \text{ Total Cilindak} = 7.640 + 6.509,2 = 14.149,2 \text{ m}$$

$$t_c = \frac{(242 \times 0,39 \times 37,5 \times 14.149,2) + (198 \times 0,2 \times 21 \times 16.520)}{0,39 \times 37,5 \times 14.149,2 + 0,2 \times 21 \times 16520}$$

$$= 177 \text{ menit}$$

$$I_r = \left(\frac{16 \times 750 + 20 \times 700 + 27 \times 650}{16 + 20 + 27} \right) / (t + 20)$$



$$= \frac{691,27}{t + 20}$$

$$Q_{\text{total}} = \frac{100}{36} \times 0,69(0,39 \times 3.750) + (0,2 \times 2.550) \frac{691,27}{177 + 20}$$

$$= 13,27 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$m = 0,58 \rightarrow d = 0,7596 \sqrt{\frac{13,2}{1,5}} = 2,26 \text{ m}$$

$$b = 0,8574 \sqrt{\frac{13,2}{1,5}} = 2,55 \text{ m}$$

$$B = 1,7567 \sqrt{\frac{13,2}{1,5}} = 5,23 \text{ m}$$

STORASI DIHITUNG UNTUK PUH = 10 TAHUN

- a. Luas Storasi (Ha) Pada Ujung Pertemuan Cilandak-Cimacan
(Storasi Tunggal)

$$Q_{\text{total}} = 5,0 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\text{Durasi Hujan } t = 3 \text{ jam} = 180 \text{ menit}$$

$$\text{Persamaan: } v = \frac{25,36(C_{\text{r}}A)^{2/3}}{TQ_{\text{r}}(\text{outflow})^{1/2}}$$

$$T = \frac{t}{48} (0,0394 R_t + 0,1)^{-3,55}$$

$$R_t = \text{Tinggi hujan (mm)} = R^3$$

$$R^{24} = \frac{I^{240} \times 4}{90\%} (\text{mm})$$

$$R^3 = 78\% R^{24}(\text{mm}) \rightarrow \text{diketahui}$$

$$I_{\text{r}(5)} = \frac{691,27}{t + 20}$$

$$I_{\text{r}(10)} = (\text{lihat persamaan } I_{10} \text{ per Sub DAS})$$

$$I_{\text{r}(10)} = \frac{16 \times 1000 + 20 \times 950 + 27 \times 900}{16 + 20 + 27} / (t + 20) = \frac{941,27}{t + 20}$$

$$t_{\text{ct}(10)} = t_{\text{ct}(5)} \left(\frac{I_{\text{r}(5)}}{I_{\text{r}(10)}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$t_{\text{ct}(5)} = 177 \text{ menit}$$



$$t_{ct(10)} = 177 \left(\frac{691,27/177}{941,27/144} \right)^{\frac{2}{3}} = 144 \text{ menit}$$

$$c_{r(5)} = 0,39$$

$$c_{r(10)} = 1 - (1 - 0,39) \sqrt{\frac{691,27/177}{941,27/144}} = 0,53$$

$$\begin{aligned} \text{Persamaan: K.L. rata2 selama } t = c_{rt} &= \frac{c}{t} (t - 2 + 4,6052 \log \frac{2}{t}) \\ &= \frac{0,53}{180} (180 - 2 + 4,6052 \log \frac{2}{180}) \\ &= 0,50 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{I_{240}}{r(10)} &= \frac{941,27}{240 + 20} ; R^{24} = \frac{I_{240} \times 4}{r(10)} ; R^3 = 0,76 R^{24} = 12,55 \text{ mm} \\ &= R_t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= \frac{t}{48} (0,0394 R_t + 0,1)^{-3,55} = \frac{180}{48} (0,0394 \times 12,55 + 0,1)^{-3,55} \\ &= 23,76 \end{aligned}$$

$$V = \frac{25,36 (0,50 \times 6300)^{\frac{3}{2}}}{(23,76 \times 5)^{\frac{1}{2}}} = 411345,61 \text{ m}^3$$

$$A = \frac{V}{h} = \frac{411345,61}{3} = 137115,2 \text{ m}^2 = 13,71 \text{ Ha}$$

b. Pertemuan Cikucing dan Citikus:

$$v = \frac{25,36 (C_{rt} A)^{\frac{2}{3}}}{T Q_{r(\text{outflow})}^{\frac{1}{2}}}$$

$$C_{r(10)} = \frac{16 \times 0,39 + 8 \times 0,65}{16 + 8} = 0,45$$

$$C_{rt} = \frac{C_{r(10)}}{180} \left(180 - 2 + 4,6052 \log \frac{2}{180} \right) = 0,45$$

$$I_{r(10)} = \frac{983,33}{t + 20}$$

$$\begin{aligned} \frac{I_{240}}{r(10)} &= \frac{983,33}{240 + 20} ; R^{24} = \frac{I_{240} \times 4}{r(10)} ; R^3 = 0,78 R^{24} = 13,11 \text{ mm} \\ &= R_t \end{aligned}$$

$$T = \frac{180}{48} (0,0394 \times 13,11 + 0,1)^{-3,55} = 20,88$$



$$V = \frac{25,36 (0,45 \times 2400)^{\frac{3}{2}}}{(20,88 \times 5)^{\frac{1}{2}}} = 8.8091,626 \text{ m}^3$$

$$A = \frac{V}{h} = \frac{411345,61}{3} = 29.363,875 \text{ m}^2 = 2,94 \text{ Ha}$$

c. PERTEMUAN CILAANDAK-CIMACAN:

Cilandak:

Q_{Cilandak} sesudah ada storasi di atas.

$Q_{\text{peak cilandak saja}} + 5 \text{ m}^3/\text{dt} (=Q_{\text{pompa}})$

$Q_{\text{peak cilandak saja}}$:

$$t_{o(5)} = 16 \text{ menit (diketahui)}$$

$$t_{o(10)} = t_{o(5)} \left(\frac{I_{(5)}}{I_{10}} \right)^{\frac{2}{3}} = 16 \left(\frac{650}{900} \right)^{\frac{2}{3}} = 13 \text{ menit}$$

$$t_{d5} = 85 \text{ menit}$$

$$t_{d(10)} = t_{d(5)} \left(\frac{I_{(5)}}{I_{10}} \right)^{\frac{2}{3}} = 85 \left(\frac{650}{900} \right)^{\frac{2}{3}} = 68 \text{ menit}$$

$$t_{c(10)} = 13 + 68 = 81 \text{ menit}$$

$$t_{c(5)} = 16 + 85 = 101 \text{ menit}$$

$$c_5 = 0,4 \quad c_{10} = 1 - (1 - 0,4) \frac{650/(101+20)}{900/(81+20)} = 0,53$$

$$\frac{Q_p(\text{cilandak saja}):}{PUH=10 \text{ Tahun}} = \frac{100}{36} \times \frac{2 \times 81}{2 \times 81 + 68} \times 0,53 \times 1.350 \times \frac{900}{81+20} \\ = 12.474,279 \text{ liter/detik}$$

$$\frac{Q_p(\text{outflow}):}{Q_p \text{ total}} = \frac{5.000 \text{ liter/detik}}{17.474,279 \text{ liter/detik}}$$

$$C (\text{Setelah ada Pompa}) = \frac{17474,279}{12474,279} \times 0,53 = 0,74$$

Cilandak:

$$c_5 = 0,2 \rightarrow A = (1.200 + 1.350) = 2.550 \text{ Ha}$$

$$t_{c5} = 198 \text{ menit}$$

$$t_{c10} = 198 \left(\frac{I_{r(5)}}{I_{10}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$I_{r5} = \frac{673,53}{t + 20}$$



$$I_{r(10)} = \left(\frac{12 \times 950 + 13,5 \times 9900}{12 + 13,5} \right) / (t + 20) = \frac{923,53}{t + 20}$$

$$t_{c10} = 198 \left(\frac{673,53}{923,53} \right)^{\frac{2}{3}} = 160 \text{ menit}$$

$$c_{10} = 1 - (1 - 0,2) \frac{673,53 / (198 + 20)}{923,53 / (160 + 20)} = 0,38$$

Pertemuan A DAS = 3.900 Ha

$$c_{10} = \frac{C_{CMC(10)} \times 25,5 + C_{CLD(10)} \times 13,5}{25,5 + 13,5} = 0,50$$

$$C_{rt} = \frac{0,50}{180} \left(180 - 2 + 4,6052 \log \frac{2}{180} \right) = 0,47$$

$$I_{r(10)} = \left(\frac{12 \times 950 + 27 \times 9.900}{12 + 27} \right) / (t + 20) = \frac{915,38}{t + 20}$$

$$I_{\frac{240}{r(10)}} = \frac{915,38}{180 + 20} ; R^{24} = \frac{I_{\frac{240}{r(10)}} \times 4}{0,9} ; R^3 = 0,78 R^{24}$$

$$= 12,21 \text{ mm}$$

$$= R_t$$

$$T = \frac{180}{48} (0,0394 \times 12,21 + 0,1)^{-3,55} = 25,76$$

$$V = \frac{25,36 (0,45 \times 3900)^{\frac{3}{2}}}{(25,76 \times 5)^{\frac{1}{2}}} = 175.361,8 \text{ m}^3$$

$$A = \frac{V}{h} = \frac{175361,8}{3} = 58.453,935 \text{ m}^2 = 5,85 \text{ Ha}$$