

Pola Intensitas Hujan Menurut Durasi dan Probabilitas Hujan Pada DAS Cimanuk Bagian Tengah¹

Oleh :
Indratmo Soekarno²
Dede Rohmat³

Abstrak

Daerah Aliran Sungai (DAS) Cimanuk Bagian Tengah (middle watershed) merupakan kawasan peralihan antara DAS Bagian tengah dengan DAS Bagian Hilir. DAS bagian tengah dicirikan oleh kondisi morfologi yang tidak terjal seperti bagian bagian tengah, juga tidak landai seperti bagian hilir. Kondisi morfologi ini mempunyai konsekuensi logis terhadap pola pemanfaatan dan pengelolaan lahan termasuk di dalamnya upaya konservasi sumber daya air. Mengenali pola intensitas hujan untuk kawasan ini menjadi sangat penting, karena basis perencanaan pengelolaan lahan dan konservasi sumber daya air adalah kuantitas hujan dan pola intensitas hujan.

Tujuan kajian adalah memperoleh pola intensitas hujan dalam bentuk persamaan sederhana, namun akurat digunakan untuk memprediksi intensitas hujan pada sembarang durasi dan probabilitas.

Persamaan akhir pola intensitas hujan hasil pemodelan berbentuk $I_{t,p}=f(t,p)$. Prediksi intensitas hujan ($I_{t,p}$) pada sembarang durasi hujan (t ; jam) dan probabilitas hujan (p ; %) dapat dilakukan dengan menggunakan satu persamaan. Persamaan umum intensitas hujan sebagai fungsi dari t dan p dirumuskan dengan mengganti semua nilai konstanta dengan notasi a_1, a_2, b_1, b_2 sebagai tetapan-tetapan.

Pada semua kelompok durasi hujan, nilai intensitas hujan hasil pemodelan ($I_{t,p}$) dengan empirik (I_e) mempunyai nilai sangat dekat, dengan nilai korelasi antara 0,98 dan 0,99. Pada semua kelompok periode ulang kejadian hujan (T), nilai ($I_{t,p}$) cukup valid. Hasil perhitungannya mendekati data intensitas empirik dan mempunyai pola yang hampir sama dengan metode lain. Dibandingkan dengan metode lain, nilai korelasi $I_{t,p}$ terbaik pada $T = 2; 3; 5; 7; \text{ dan } 15$ tahun. Simpangan yang relatif besar antara $I_{t,p}$ dengan hasil perhitungan metode lain terdapat pada $t > 4$ jam, terjadi karena hasil perhitungan bersifat ekstrapolasi.

Kata-kata kunci : Pola Hujan, Intensitas Hujan, Durasi Hujan, Probabilitas Hujan, DAS Cimanuk

¹ Disajikan pada Seminar dan Rapat Tahunan Masyarakat Hidrologi Indonesia, Gedung II BPPT Lantai 3, Jakarta 7 September 2005.

² Lektor Kepala pada Departemen Teknik Sipil, FTSP ITB, Bandung, Jl. Ganesa No. 10 Bandung 40132

³ Lektor Kepala Jurusan Pendidikan Geografi, FPIPS UPI, Bandung, Jl. Dr. Setiabudi No. 229 Bandung 40154

1. Pendahuluan

Wilayah DAS Cimanuk terbagi atas tiga sub wilayah, yaitu : (i) Wilayah Cimanuk Hulu; mencakup wilayah sekitar Balubur – Limbangan hingga menjangkau kawasan hulu Sungai Cimanuk; (ii) Wilayah Tengah, mencakup wilayah mulai dari Balubur – Limbangan hingga wilayah dimana terdapat dua pertemuan dua buah anak sungai, yaitu sungai Cipeles yang mengalir dari Gunung Bukit Tunggul di Kabupaten Sumedang dan Sungai Cilutung yang mengalir dari bagian timur Gunung Ceremai (*Anonymous, 1982*); dan (iii) Wilayah Hilir; yang mencakup wilayah hilir dari sungai Cimanuk, Cipeles dan Cilutung hingga muara di Kabupaten Indramayu

Daerah Aliran Sungai (DAS) Cimanuk Bagian Tengah (middle watershed) merupakan kawasan peralihan antara DAS Bagian tengah dengan DAS Bagian Hilir. DAS bagian tengah dicirikan oleh kondisi morfologi yang tidak terjal seperti bagian bagian tengah, juga tidak landai seperti bagian hilir. Pegunungan yang rendah dan perbukitan tercakup dalam wilayah ini, antara lain Gunung Sanghiang, Gunung Kancana, Gunung Calancang dan Gunung Cakrabuana. *Morfologi ini mempunyai konsekuensi logis terhadap pola pemanfaatan dan pengelolaan lahan termasuk di dalamnya upaya konservasi sumber daya air. Mengenali pola intensitas hujan untuk kawasan ini menjadi sangat penting, karena basis perencanaan pengelolaan lahan dan konservasi sumber daya air adalah kuantitas hujan dan pola intensitas hujan.*

Terdapat tiga variable utama hujan yang hampir selalu diamati untuk berbagai kebutuhan analisa, prediksi dan perencanaan, yaitu ketebalan hujan (R), durasi hujan (t), dan distribusinya dalam ruang dan waktu.

Berdasarkan tiga variable utama ini, dapat diturunkan variable hujan lain, antara lain intensitas hujan (I) dan probabilitas hujan (p). Dalam bidang perencanaan teknis, dua variabel ini merupakan variabel yang sangat penting.

Telah dikenal metoda prediksi intensitas hujan menurut durasi dan probabilitas (=periode ulang) hujan, antara lain Jenis Talbot (1881), Jenis Sherman (1905), dan Jenis Ishiguro (1953) (Subarkah, 1980). Metoda ini menyajikan prediksi intensitas hujan sebagai fungsi durasi hujan menurut kelompok periode ulang kejadian hujan. Artinya, untuk memprediksi intensitas hujan pada sejumlah x periode ulang hujan diperlukan sebanyak x persamaan (Rohmat, 2004).

Sepanjang pengetahuan penulis, sampai saat ini belum terdapat persamaan yang dapat digunakan untuk memprediksi intensitas hujan sebagai fungsi dari durasi dan

probabilitas (periode ulang) hujan secara terintegrasi dalam satu persamaan,. Khususnya persamaan yang berlaku untuk kawasan DAS bagian tengah.

Dalam paper ini, akan dikaji formulasi intensitas hujan berdasarkan durasi hujan dan probabilitas hujan secara terintegrasi. Diharapkan, prediksi intensitas hujan untuk sejumlah y durasi hujan dan sejumlah x periode ulang kejadian hujan, dapat dihitung dengan hanya menggunakan satu persamaan saja.

2. Lingkup dan Tujuan Kajian

Kajian formulasi intensitas hujan mencakup kajian-kajian sebagai berikut :

1. Formulasi model (persamaan) intensitas hujan sebagai fungsi dari durasi hujan (t ; jam) dan probabilitas (p ; %), tercakup didalamnya :
 - Pengujian data awal, normalisasi data, dan transformasi data.
 - Uji kedekatan (korelasi) antara intensitas hujan hasil pemodelan dengan intensitas hujan empirik.
2. Mencari nilai proyeksi intensitas hujan berdasarkan metoda Talbot, Sherman, dan Ishiguro.
3. Membandingkan nilai proyeksi intensitas hujan metoda Talbot, Sherman, dan Ishiguro dengan hasil proyeksi persamaan intensitas hujan sebagai fungsi dari durasi hujan (t ; jam) dan probabilitas (p ; %),

Tujuan kajian ini antara lain adalah memperoleh suatu model intensitas hujan dalam bentuk persamaan yang sederhana, namun dapat digunakan untuk memprediksi intensitas hujan pada sembarang durasi dan probabilitas secara fleksibel dan akurat. Model ini diharapkan akurat untuk prediksi intensitas hujan pada kawasan DAS bagian tengah, dan dapat dikembangkan untuk kawasan-kawasan lainnya.

3. Kondisi Umum Kawasan Kajian

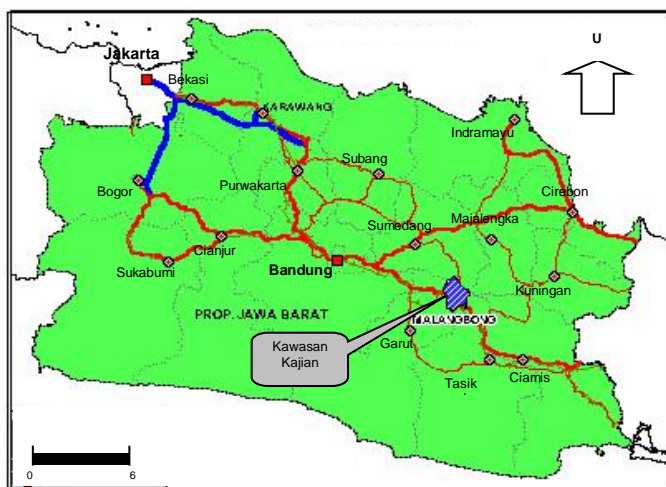
Kajian pola intensitas hujan dilaksanakan di kawasan bagian tengah DAS Cimanuk, tepatnya di Kecamatan Malangbong Kabupaten Garut Propinsi Jawa Barat (Gambar 1). Wilayah ini terletak pada ketinggian 560 – 800 meter di atas permukaan laut (m dpl).

Kemiringan lereng berkisar antara 15->40 %. Rata-rata hujan tahunan sekitar 2.676 mm per tahun (Rohmat, 2005). Macam penggunaan lahan yang ditemukan antara lain palawija (*second crops*); agroforestri (*agroforestry*); lahan tidak digarap (*non arable land*), hutan (*forest*); dan permukiman (*settlement*) (Purwanto, 1999).

Palawija merupakan budidaya lahan kering dengan dominasi tanaman semusim; sedang tanaman tahunan difungsikan sebagai tanaman pelindung atau tanaman batas lahan. Secara kuantitatif, penutupan lahan oleh tajuk tanaman bervariasi dari 50 % - 90 %.

Agroforestry, terdiri atas hutan rakyat dan sistem tumpang sari. Sistem hutan rakyat, adalah sistem pemanfaatan lahan dengan tanaman tahunan (100 %). Penutupan lahan mencapai 80 - 100 %. *Pada Lahan yang tidak digarap*, tersebar tumbuhan dominan berupa semak dari alang-alang dengan penutupan lahan 100 %.

Hutan, merupakan lahan yang didominasi tanaman tahunan dari jenis kayu-kayuan dan difungsikan sebagai hutan lindung. Di bawah tegakan tumbuh tanaman perdu, semak, dan rumput liar. Dengan demikian, lahan tertutup rapat oleh tajuk tanaman (100 %). Permukiman di lokasi penelitian umumnya mempunyai halaman bermain dan budidaya tanaman pekarangan. Penutupan lahan di areal permukiman sekitar 30 – 40 %.



Gambar 1. Lokasi daerah studi

Pada kawasan ini terdapat satu instalasi station pengamat cuaca yang memiliki peralatan cukup representatif. Fluviograf (penakar hujan otomatis) terpasang baik dan diamati setiap saat. Sebagai pembanding juga terpasang Penakar Hujan Manual. Alat lainnya berupa Anemometer (alat pengukur kecepatan angin), Thermometer (alat pengukur suhu), Barograf (alat pengukur tekanan udara), Hygrograf (alat pengukur kelembaban), Pan Evaporimeter (alat pengukur evaporasi), dan alat-alat lain terpasang cukup baik.

4. Pengumpulan Data

Berdasarkan hasil pembacaan rekaman hujan selama 3 tahun yang tercatat pada kertas pias yang dipasang pada alat pencatat hujan otomatis (Fluviograf), diperoleh 202

buah data dasar kejadian hujan. Data terdiri atas dua variabel yaitu data ketebalan hujan (R_i) dan durasi hujan (t_i).

Berdasarkan data tersebut kemudian dihitung intensitas hujannya menurut persamaan (1) :

$$I_i = \frac{R_i}{t_i} \quad (1)$$

dengan : I_i = intensitas hujan pada durasi hujan tertentu; R_i = curah hujan (mm) pada durasi hujan tertentu; dan t_i = durasi pada suatu kejadian hujan (jam).

Data intensitas hujan dikelompokkan berdasarkan durasi hujan (t) = 0,25 jam, sebanyak 30 data; 0,5 jam (40 data); 1 jam (49 data); 2 jam (49 data); 4 jam (28 data); dan 6 jam (6 data). Intensitas hujan pada $t = 6$ jam karena jumlahnya tidak memadai (hanya 6 kejadian hujan) tidak disertakan dalam analisis. Sehingga untuk tahap analisis berikutnya, terdapat 196 buah data intensitas hujan.

5. Prosedur Analisis Data

Analisis dilakukan terhadap data yang telah dikelompokkan berdasarkan durasinya. Rangkaian tahapan analisis untuk memperoleh model (persamaan) intensitas hujan adalah:

- 1) *Uji homogenitas data*; data yang bersifat *outliers* dikeluarkan dari analisis. Berdasarkan proses ini diperoleh 161 data yang siap analisis.
- 2) *Uji normalitas data*; dilakukan untuk melihat apakah data tersebar secara normal atau tidak. Jika tersebar secara normal, maka dilakukan transformasi semilog. Dalam hal ini dilakukan transformasi logaritma bilangan dasar 10 terhadap data intensitas hujan.
- 3) *Pengurutan data*. Pada setiap kelompok durasi hujan, intensitas hujan diurutkan dari intensitas tinggi ke intensitas rendah (*decending*)
- 4) Penghitungan probabilitas hujan dengan menggunakan persamaan (2).

$$p = \frac{m}{N + 1} \cdot 100\% \quad (2)$$

Dengan p adalah probabilitas hujra (%); m adalah nomor urut intensitas hujan pada kelompok durasi hujan yang telah diurutkan secara *decending*; dan N adalah banyaknya data pada kelompok durasi hujan. Lampiran A, menyajikan data yang telah diurutkan, ditransformasi, dan dihitung probabilitasnya.

- 5) Formulasi persamaan hubungan antara probabilitas hujan dengan intensitas hujan, untuk masing-masing kelompok durasi hujan, sehingga diperoleh persamaan $I_t=f(p)$.

- 6) Menghitung nilai proyeksi intensitas hujan untuk nilai probabilitas tertentu. Dalam hal ini dihitung untuk $p = 5$ sampai dengan 95% dengan interval 5% , sehingga diperoleh nilai proyeksi intensitas hujan menurut nilai interval probabilitas hujan tersebut pada masing-masing kelompok t .
- 7) Formulasi persamaan linier antara intensitas hujan sebagai fungsi dari t pada setiap nilai interval probabilitas hujan. Guna memperoleh pola hubungan yang baik, durasi hujan t , ditransformasi menjadi $(1/t)$. Diperoleh hubungan linier $I_p = a + b \cdot (1/t)$.
- 8) Nilai koefisien a dan b dari persamaan (hubungan) linier diatas dikelompokkan berdasarkan nilai interval probabilitas.
- 9) Formulasi hubungan antara : (A) p dengan koefisien a ; dan (B) p dengan koefisien b . Dalam hal ini bentuk hubungan bersifat hubungan eksponensial.
- 10) Menyusun persamaan akhir, mencakup substitusi persamaan (A) dan (B) ke dalam bentuk persamaan $I_p = a + b \cdot (1/t)$; dan menyederhanakannya, diperoleh $I_{t,p} = f(t,p)$.
- 11) Uji validasi data, dilakukan melalui dua cara, yaitu : membandingkan intensitas hujan hasil model dengan intensitas hujan empirik (I_e) sebagai data dasar; dan membandingkan intensitas hujan hasil model dengan hasil perhitungan metoda lain yang sudah ada (Talbot, Sherman, dan Ishiguro).

Prosedur formulasi intensitas hujan disajikan dalam bentuk bagan alir proses Gambar 2.

6. Formulasi Intensitas Hujan sebagai Fungsi Probabilitas

Berdasarkan Lampiran A, dianalisis pola hubungan antara $\log I$ dengan probabilitas hujan pada masing-masing kelompok durasi hujan (t). Hubungan antara kedua variabel hujan tersebut merupakan hubungan linier. Retransformasi terhadap persamaan linier tersebut menghasilkan persamaan-persamaan berikut :

a $t = 0,25$ jam

$$I_{0,25} = 10^{(-0,0115 \cdot p + 1,437)} \quad (3)$$

b $t = 0,50$ jam

$$I_{0,5} = 10^{(-0,0121 \cdot p + 1,219)} \quad (4)$$

c $t = 1,00$ jam

$$I_1 = 10^{(-0,0135 \cdot p + 1,119)} \quad (5)$$

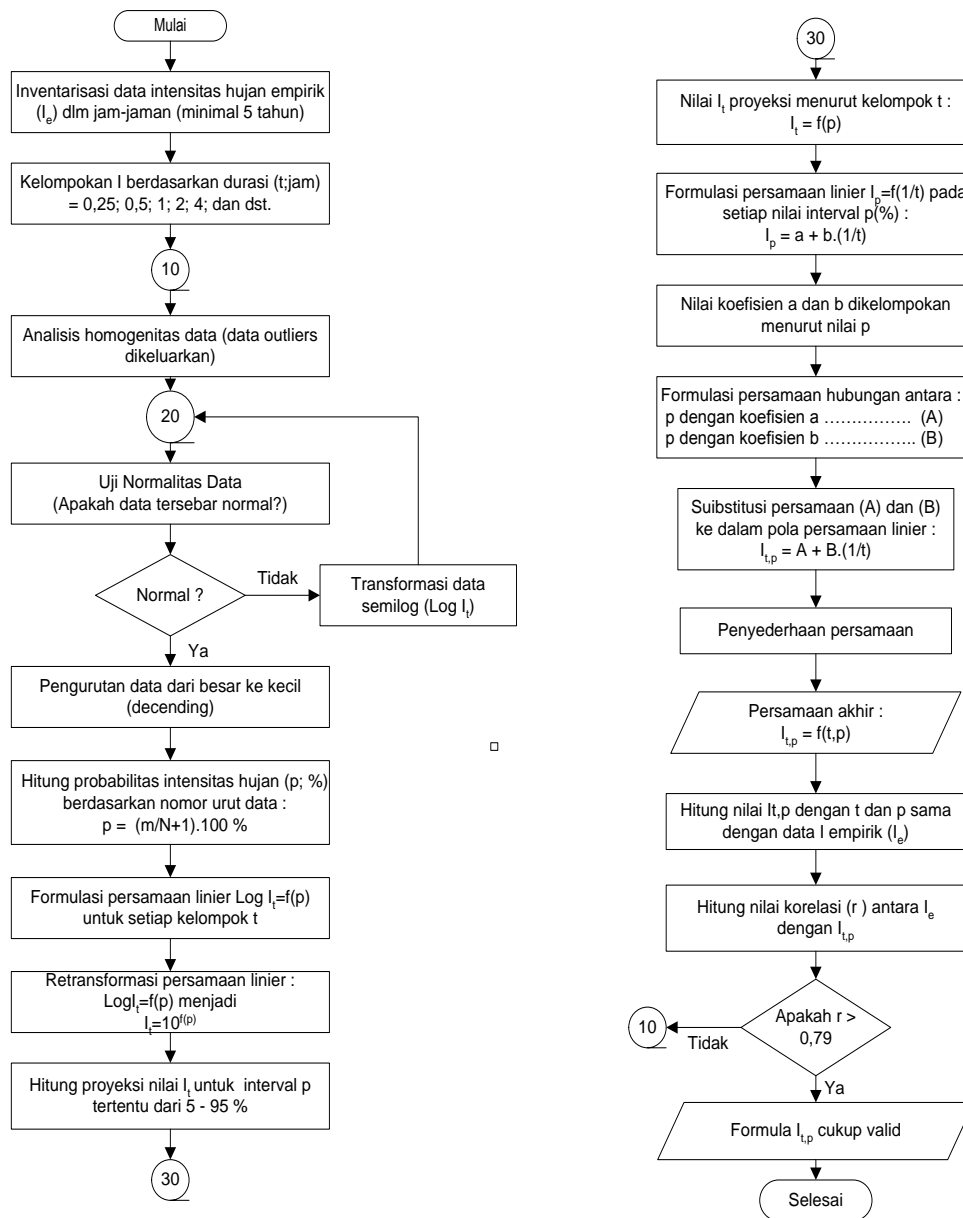
d $t = 2,00$ jam

$$I_2 = 10^{(-0,0148 \cdot p + 1,118)} \quad (6)$$

e $t = 4,00$ jam

$$I_4 = 10^{(-0,0172 \cdot p + 0,091)} \quad (7)$$

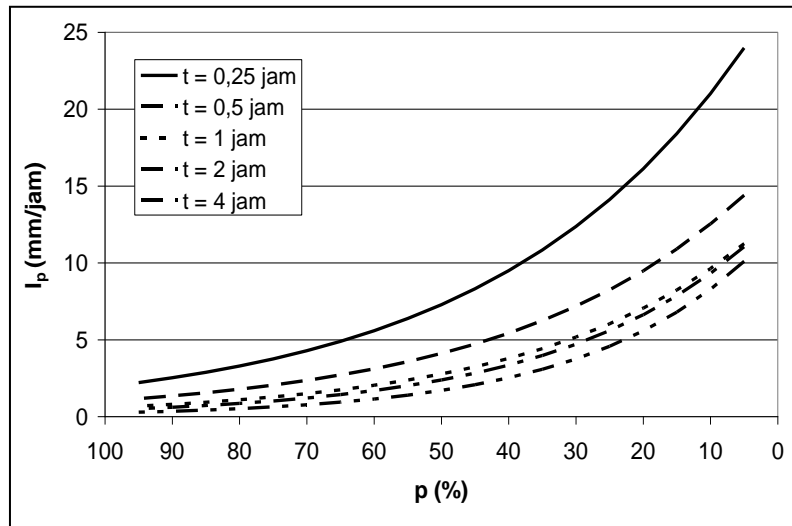
Persamaan (3) sampai dengan persamaan (7) diekspresikan lebih jelas oleh (Gambar 3).



Gambar 2. Bagan prosedur analisis formulasi intensitas hujan (It,p) sebagai fungsi dari durasi (t) dan probabilitas (p) hujan

7. Formulasi Intensitas Hujan Fungsi dari Lama Hujan dan Probabilitas

Pada persamaan (3) sampai dengan (7) disubstitusikan nilai probabilitas hujan antara 5 % sampai dengan 95 % dengan interval 5 % (19 nilai p). Hasil perhitungan diperoleh proyeksi nilai intensitas hujan sebagai fungsi probabilitas hujan (I_p) (lihat Lampiran B). Tahap berikutnya dilakukan analisis terhadap Lampiran B. Nilai proyeksi intensitas hujan dianalisis hubungannya dengan durasi hujan pada setiap nilai interval probabilitas hujan. Proses ini kebalikan dari Bagian 5 di atas.



Gambar 3. Intensitas hujan (I_p ; mm/jam) fungsi dari probabilitas hujan (p ; %) pada durasi hujan (t ; jam) tertentu.

Jika nilai I_p pada probabilitas yang sama, diplot pada sumbu Y dan nilai $(1/t)$ diplot pada sumbu X, ternyata antara I_p dengan $(1/t)$ membentuk garis-garis lurus. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa antara I_p dengan $(1/t)$ mempunyai hubungan linier. Sesuai dengan jumlah interval nilai p , maka terdapat 19 buah persamaan linier yang terbentuk. Persamaan-persamaan linier tersebut mempunyai bentuk persamaan dasar:

$$I = A \pm B \frac{1}{t} \quad (8)$$

Dari 19 buah persamaan terdapat 19 buah nilai- koefisien A dan 19 buah koefisien B. Nilai koefisien A dan B tersebut dikelompokkan berdasarkan nilai interval probabilitas hujan (Tabel 1). Data Tabel 1 dianalisis lebih lanjut dengan mencari hubungan, masing-masing antara probabilitas dengan nilai koefisien A; dan probabilitas dengan koefisien B. Hasil analisis menunjukkan bahwa hubungan probabilitas (p ; %) dengan koefisien A dan B merupakan hubungan eksponensial (Gambar 4).

Persamaan garis yang terbentuk antara p dengan A disajikan pada persamaan (9), dan hubungan antara p dengan b disajikan persamaan (10).

$$A = 10,87e^{-0,0415.p} \quad (9)$$

$$B = 4,3187e^{-0,0223.p} \quad (10)$$

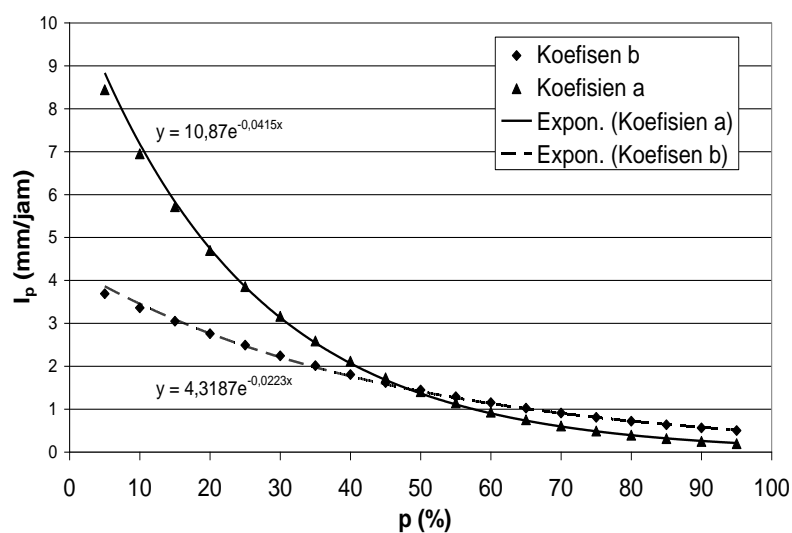
Substitusi persamaan (9) dan persamaan (10) ke dalam persamaan (8), menghasilkan suatu formula intensitas hujan sebagai fungsi dari lama hujan (t) dan probabilitas (p) (persamaan (11)).

$$I_{t,p} = 10.87e^{-0,0415p} + 4,319e^{-0,00223p} \frac{1}{t} \quad (11)$$

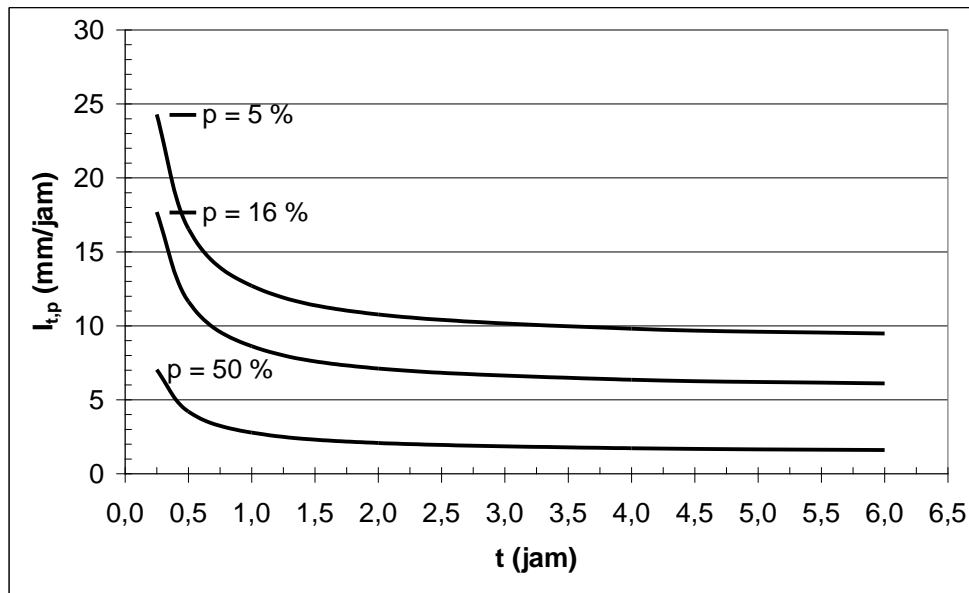
Persmaan (11) ini merupakan persamaan akhir pola intensitas hujan untuk kawasan DAS Cimanuk bagian tengah.

Tabel 1. Nilai-nilai koefisien A dan B dari persamaan linier $I_p=f(1/t)$

P	A	B
5	8,4434	3,6891
10	6,9504	3,3601
15	5,7167	3,0499
20	4,6976	2,7601
25	3,8563	2,4913
30	3,1621	2,2433
35	2,5897	2,0157
40	2,118	1,8077
45	1,7295	1,6185
50	1,4099	1,4468
55	1,1472	1,2914
60	0,9314	1,1513
65	0,7544	1,0252
70	0,6094	0,9119
75	0,4908	0,8103
80	0,3938	0,7194
85	0,3147	0,6382
90	0,2504	0,5657
95	0,1981	0,501



Gambar 4. Hubungan probabilitas dengan nilai koefisien a dan nilai koefisien b



Gambar 5. Intensitas hujan model ($I_{t,p}$; mm/jam) pada menurut durasi hujan (t ; jam), pada $p=50$, 16, dan 5 %

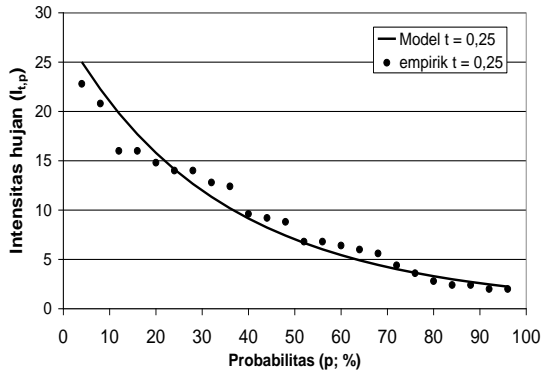
Dalam data yang tersebar normal, nilai probabilitas (p) 50 % merupakan nilai rata-rata; nilai $p = 16$ % adalah nilai rata-rata ditambah standar deviasi; dan nilai $p = 5$ % merupakan nilai ekstrim. Dengan menggunakan persamaan (11), dihitung intensitas hujan pada tiga nilai p tersebut menurut durasi hujan (t) 0,25; 0,5; 1; 2; 4; dan 6 jam (Gambar 5).

8. Validasi Persamaan

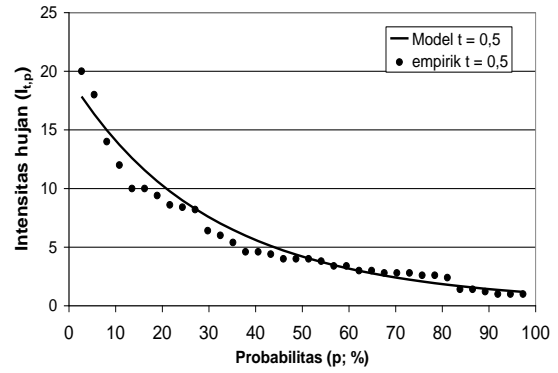
8.1 Perbandingan dengan Data Hujan Hasil Pengukuran (I_e)

Berdasarkan persamaan (11) dihitung nilai intensitas hujan model ($I_{t,p}$) pada durasi hujan (t ; jam) dan probabilitas hujan (p ; %) yang sama dengan t dan p data empirik..

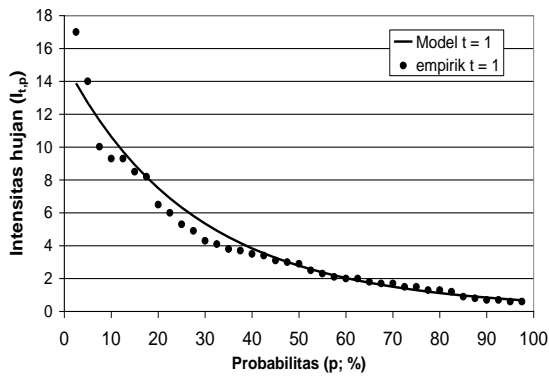
Hasil perhitungan menunjukkan bahwa antara $I_{t,p}$ dengan I_e pada semua kelompok durasi hujan mempunyai nilai yang sangat mendekati. Hal ini ditunjukkan oleh nilai korelasi antara keduanya. Nilai korelasi tersebut berkisar antara 0,98 dan 0,99. Nilai korelasi 0,98 terdapat pada $t = 0,15$ jam; $t = 0,5$ jam; $t = 1$ jam; dan $t = 4$ jam, sedangkan nilai korelasi 0,99 terdapat pada $t = 2$ jam. Lebih jelas mengenai perbandingan kedua nilai Intensitas tersebut disajikan pada Gambar 6(a) sampai dengan 6(e).



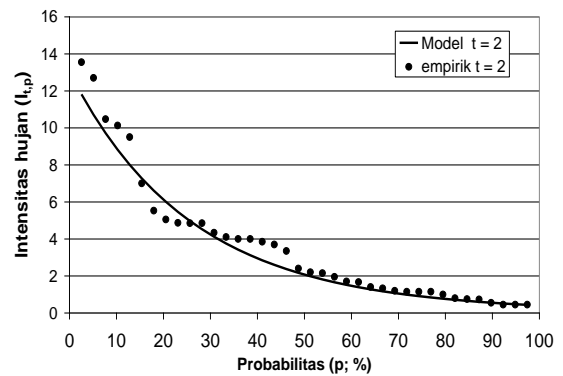
(a) t = 0,25 jam



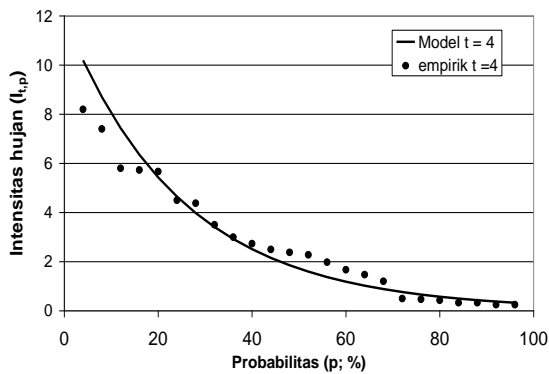
(b) t = 0,5 jam



(c) t = 1 jam



(d) t = 2 jam



(e) t = 4 jam

Gambar 6. Perbandingan antara Intensitas hasil pemodelan ($I_{t,p}$) dengan intensitas hujan empirik (I_e), pada t (jam)=0,25; 0,5; 1; 2; dan 4.

8.2 Perbandingan dengan Hasil Perhitungan Metode Lain

Terdapat tiga metode/jenis yang akan dikemukakan, yaitu Jenis Talbot (1881) persamaan (12); Sherman (1905) persamaan (13), dan Ishiguro (1957) persamaan (14).

$$I = \frac{a'}{t + b} \quad (12)$$

$$I = \frac{a}{t^n} \quad (13)$$

$$I = \frac{a}{\sqrt{t + b}} \quad (14)$$

dengan :

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Durasi hujan dalam menit atau jam

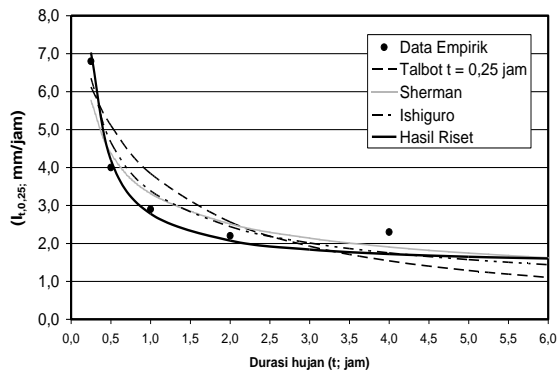
a', a, b, n = Tetapan

Perhitungan pola intensitas Jenis Talbot, Sherman, dan Ishiguro dilakukan berdasarkan metode seperti yang dikemukakan pada Bagian 7.2 A di atas.

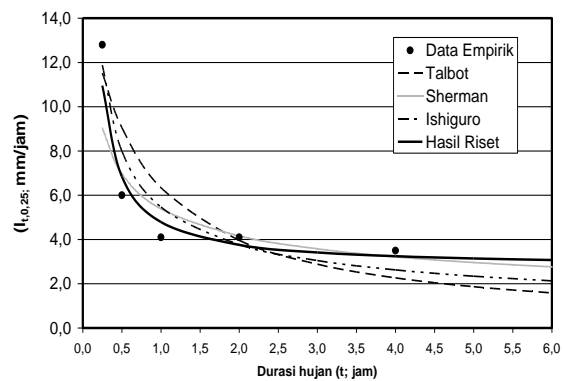
Hasil-hasil perhitungan menurut ketiga metode di atas, bersama-sama dengan hasil perhitungan intensitas hujan berdasarkan persamaan (11) disajikan dalam satu gambar. Hasil perhitungan yang disatukan adalah perhitungan pada kelompok periode ulang (T) atau probabilitas (p) yang sama. Dimana hubungan antara T dengan p diekspresikan oleh persamaan (17).

$$p = \frac{1}{T} \cdot 100\% \quad (17)$$

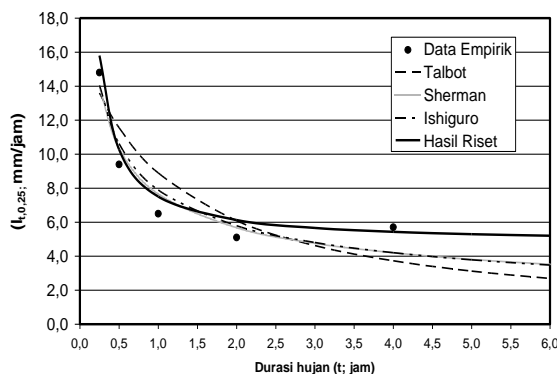
Dengan cara ini nampak jelas persamaan dan perbedaan antar metode tersebut. Lebih jelas lihat pada Gambar 7(a) sampai dengan Gambar 7(g).



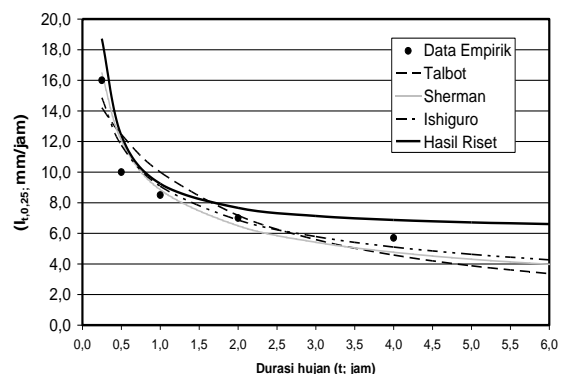
(a) $T = 2$ tahun atau $p = 50\%$



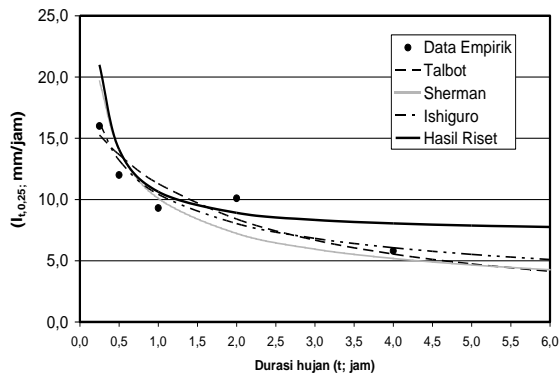
(b) $T = 3$ tahun atau $p = 33\%$



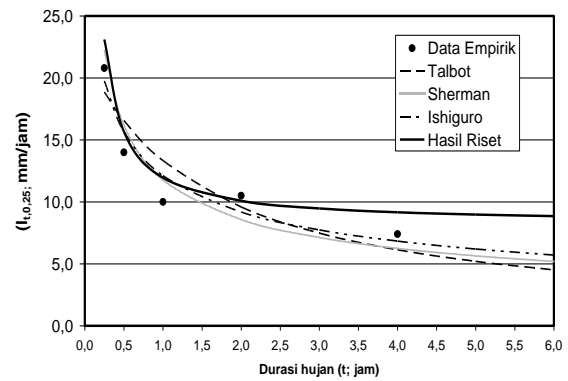
(c) $T = 5$ tahun atau $p = 20\%$



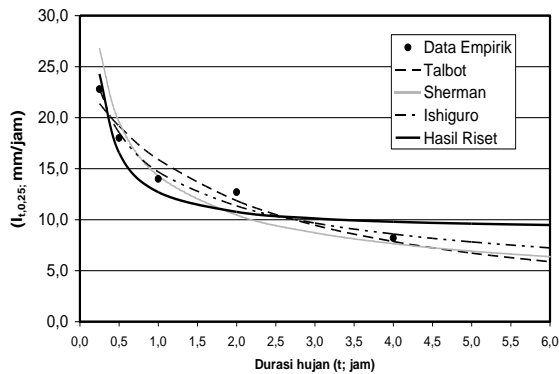
(d) $T = 7$ tahun atau $p = 14\%$



(e) $T = 10$ tahun atau $p = 10 \%$



(f) $T = 15$ tahun atau $p = 7 \%$



(g) $T = 20$ tahun atau $p = 5 \%$

Gambar 7. Perbandingan intensitas hujan model ($I_{t,p}$), dengan metode lain (Talbot, Sherman, dan Ishiguro) menurut t (jam) pada kelompok T (tahun)

Berdasarkan grafik-grafik di atas nampak bahwa intensitas hujan hasil pemodelan (persamaan (11)) atau $I_{t,p}$, cukup valid. Nilai hitunginya mendekati data intensitas empirik dan mempunyai pola yang hampir sama dengan metode lain, terutama untuk $t = 0,25$ jam sampai dengan $t = 4$ jam. Simpangan yang cukup besar antara $I_{t,p}$ dengan hasil perhitungan metode lain pada $t > 4$ jam dapat dipahami, karena pada t tersebut hasil perhitungan bersifat ekstrapolasi.

8.3 Perbandingan Nilai Korelasi

Angka korelasi intensitas hujan hasil pemodelan ($I_{t,p}$) dengan data empirik berkisar antara 0,93 sampai dengan 0,99. Angka korelasi terbesar (0,99) terdapat pada $T = 2; 5; 7$ tahun. Jika dibandingkan dengan metode lain nilai korelasi hasil pemodelan terbaik pada $T = 2; 3; 5; 7; 15$ tahun. Nilai korelasi secara lengkap lihat Tabel 2. Nilai korelasi ini sangat berkaitan dengan jumlah dan akurasi data dasar. Semakin baik dan semakin banyak data, maka hasil prediksi intensitas hujan akan semakin baik dan mendekati nilai sebenarnya.

Tabel 2. Nilai korelasi masing-masing metode pada kelompok periode ulang (T) hujan.

Metoda	Periode Ulang (T = tahun)						
	T=2	T=3	T=5	T=7	T= 10	T =15	T= 20
Talbot	0,89	0,86	0,88	0,9	0,92	0,89	0,97
Sherman	0,95	0,91	0,96	0,98	0,95	0,97	0,99
Ishiguro	0,96	0,94	0,95	0,96	0,95	0,95	0,99
Hasil Riset	0,99	0,97	0,99	0,99	0,93	0,98	0,96

9. Kesimpulan

1. Persamaan akhir pola intensitas hujan hasil pemodelan adalah :

$$I_{t,p} = 10.87e^{-0,0415p} + 4,319e^{-0,00223p} \frac{1}{t}$$

dengan $I_{t,p}$ adalah intensitas hujan (mm/jam); t adalah durasi hujan (jam); dan p adalah probabilitas hujan (%).

Prediksi intensitas hujan ($I_{t,p}$) pada sembarang durasi hujan (t ; jam) dan probabilitas hujan (p ; %) dapat dilakukan dengan menggunakan satu persamaan ini.

2. Persamaan pola intensitas hujan hasil pemodelan tersebut, dapat diformulasikan ulang menjadi persamaan umum intensitas hujan sebagai fungsi dari t dan p secara integral dalam bentuk.

$$I_{t,p} = a_1e^{a_2 \cdot p} + b_1e^{b_2 \cdot p} \frac{1}{t}$$

dengan $I_{t,p}$ adalah intensitas hujan (mm/jam); t adalah durasi hujan (jam); p adalah probabilitas hujan (%); a_1 , a_2 , b_1 , b_2 adalah tetapan-tetapan yang diperoleh dengan prosedur perhitungan sebagaimana telah dikemukakan (Gambar 2).

3. Pada semua kelompok durasi hujan, nilai intensitas hujan hasil pemodelan ($I_{t,p}$) dan intensitas hujan empirik (I_e) mempunyai nilai yang sangat dekat. Nilai korelasi antara keduanya berkisar antara 0,98 dan 0,99. Nilai korelasi 0,98 terdapat pada $t = 0,15$ jam; $t = 0,5$ jam; $t = 1$ jam; dan $t = 4$ jam, sedangkan nilai korelasi 0,99 terdapat pada $t = 2$ jam.
4. Pada semua kelompok periode ulang kejadian hujan (T), nilai intensitas hujan hasil pemodelan ($I_{t,p}$), cukup valid. Nilai hasil perhitungannya mendekati data intensitas empirik dan mempunyai pola yang hampir sama dengan metode lain, terutama untuk $t = 0,25$ jam sampai dengan $t = 4$ jam. Dibandingkan dengan metode lain nilai korelasi hasil pemodelan terbaik pada $T = 2; 3; 5; 7;$ dan 15 tahun.

5. Simpangan yang relatif besar antara $I_{t,p}$ dengan intensitas hujan hasil perhitungan metode lain terdapat pada pada $t > 4$ jam. Hal ini dapat dipahami karena pada t tersebut, $I_{t,p}$ bersifat ekstrapolasi.

Daftar Pustaka

1. Purwanto, E. (1999), *Erosion, sediment delivery and soil conservation in an upland agricultural catchment in West Java, Indonesia; a hydrological approach in a socio-economic context*. Academisch Proefschrift, Vrije Universiteit te Amsterdam.
2. Rohmat Dede (2002), *Formulasi pola intensitas hujan berdasarkan kejadian hujan durasi pendek (contoh kasus untuk DAS Cimanuk Hulu)*, Yayasan Geofera, Bandung.
3. Rohmat Dede dan Indratmo Soekarno (2004), *Pendugaan limpasan hujan pada cekungan kecil melalui pengembangan persamaan infiltrasi kolom tanah (Kasus di cekungan kecil Cikumutuk DAS Cimanuk Hulu)*; Makalah PIT HATHI XXI, Sept.-Okt. 2004, Denpasar-Bali.
4. Rohmat Dede, A. Aziz Djajaputra, Sudarto Notosiswoyo, Indratmo Soekarno (2005), *Model infiltrasi kolom tanah untuk menduga limpasan hujan pada cekungan kecil di DAS bagian tengah (kasus Cekungan Kecil Cikumutuk DAS Cimanuk Hulu)*, Disertasi Doktor, Teknik Sipil, FTSP, ITB.
5. Subarkah Iman (1980), *Hidrologi untuk perencanaan bangunan air*, Idea Dharma Bandung.

Lampiran A. Data variable hujan sebagai dasar formulasi

No	Urutan ke	t (jam)	I (mm/jam)	log I	p (%)	No	Urutan ke	t (jam)	I (mm/jam)	log I	p (%)
1	1	0,25	22,80	1,36	4,00	82	22	1,00	2,30	0,36	55,00
2	2	0,25	20,80	1,32	8,00	83	23	1,00	2,10	0,32	57,50
3	3	0,25	16,00	1,20	12,00	84	24	1,00	2,00	0,30	60,00
4	4	0,25	16,00	1,20	16,00	85	25	1,00	2,00	0,30	62,50
5	5	0,25	14,80	1,17	20,00	86	26	1,00	1,80	0,26	65,00
6	6	0,25	14,00	1,15	24,00	87	27	1,00	1,70	0,23	67,50
7	7	0,25	14,00	1,15	28,00	88	28	1,00	1,70	0,23	70,00
8	8	0,25	12,80	1,11	32,00	89	29	1,00	1,50	0,18	72,50
9	9	0,25	12,40	1,09	36,00	90	30	1,00	1,50	0,18	75,00
10	10	0,25	9,60	0,98	40,00	91	31	1,00	1,30	0,11	77,50
11	11	0,25	9,20	0,96	44,00	92	32	1,00	1,30	0,11	80,00
12	12	0,25	8,80	0,94	48,00	93	33	1,00	1,20	0,08	82,50
13	13	0,25	6,80	0,83	52,00	94	34	1,00	0,90	-0,05	85,00
14	14	0,25	6,80	0,83	56,00	95	35	1,00	0,80	-0,10	87,50
15	15	0,25	6,40	0,81	60,00	96	36	1,00	0,70	-0,15	90,00
16	16	0,25	6,00	0,78	64,00	97	37	1,00	0,70	-0,15	92,50
17	17	0,25	5,60	0,75	68,00	98	38	1,00	0,60	-0,22	95,00
18	18	0,25	4,40	0,64	72,00	99	39	1,00	0,60	-0,22	97,50
19	19	0,25	3,60	0,56	76,00	100	1	2,00	13,55	1,13	2,56
20	20	0,25	2,80	0,45	80,00	101	2	2,00	12,70	1,10	5,13
21	21	0,25	2,40	0,38	84,00	102	3	2,00	10,47	1,02	7,69
22	22	0,25	2,40	0,38	88,00	103	4	2,00	10,13	1,01	10,26
23	23	0,25	2,00	0,30	92,00	104	5	2,00	9,50	0,98	12,82
24	24	0,25	2,00	0,30	96,00	105	6	2,00	7,00	0,85	15,38
25	1	0,50	20,00	1,30	2,70	106	7	2,00	5,53	0,74	17,95
26	2	0,50	18,00	1,26	5,41	107	8	2,00	5,05	0,70	20,51
27	3	0,50	14,00	1,15	8,11	108	9	2,00	4,87	0,69	23,08
28	4	0,50	12,00	1,08	10,81	109	10	2,00	4,85	0,69	25,64
29	5	0,50	10,00	1,00	13,51	110	11	2,00	4,85	0,69	28,21
30	6	0,50	10,00	1,00	16,22	111	12	2,00	4,33	0,64	30,77
31	7	0,50	9,40	0,97	18,92	112	13	2,00	4,10	0,61	33,33
32	8	0,50	8,60	0,93	21,62	113	14	2,00	4,00	0,60	35,90
33	9	0,50	8,40	0,92	24,32	114	15	2,00	4,00	0,60	38,46
34	10	0,50	8,20	0,91	27,03	115	16	2,00	3,85	0,59	41,03
35	11	0,50	6,40	0,81	29,73	116	17	2,00	3,70	0,57	43,59
36	12	0,50	6,00	0,78	32,43	117	18	2,00	3,35	0,53	46,15
37	13	0,50	5,40	0,73	35,14	118	19	2,00	2,40	0,38	48,72
38	14	0,50	4,60	0,66	37,84	119	20	2,00	2,20	0,34	51,28
39	15	0,50	4,60	0,66	40,54	120	21	2,00	2,15	0,33	53,85

No	Urutan ke	t (jam)	I (mm/jam)	log I	p (%)	No	Urutan ke	t (jam)	I (mm/jam)	log I	p (%)
40	16	0,50	4,40	0,64	43,24	121	22	2,00	1,95	0,29	56,41
41	17	0,50	4,00	0,60	45,95	122	23	2,00	1,70	0,23	58,97
42	18	0,50	4,00	0,60	48,65	123	24	2,00	1,67	0,22	61,54
43	19	0,50	4,00	0,60	51,35	124	25	2,00	1,40	0,15	64,10
44	20	0,50	3,80	0,58	54,05	125	26	2,00	1,33	0,12	66,67
45	21	0,50	3,40	0,53	56,76	126	27	2,00	1,20	0,08	69,23
46	22	0,50	3,40	0,53	59,46	127	28	2,00	1,15	0,06	71,79
47	23	0,50	3,00	0,48	62,16	128	29	2,00	1,15	0,06	74,36
48	24	0,50	3,00	0,48	64,86	129	30	2,00	1,15	0,06	76,92
49	25	0,50	2,80	0,45	67,57	130	31	2,00	1,00	0,00	79,49
50	26	0,50	2,80	0,45	70,27	131	32	2,00	0,80	-0,10	82,05
51	27	0,50	2,80	0,45	72,97	132	33	2,00	0,75	-0,12	84,62
52	28	0,50	2,60	0,41	75,68	133	34	2,00	0,73	-0,14	87,18
53	29	0,50	2,60	0,41	78,38	134	35	2,00	0,55	-0,26	89,74
54	30	0,50	2,40	0,38	81,08	135	36	2,00	0,45	-0,35	92,31
55	31	0,50	1,40	0,15	83,78	136	37	2,00	0,45	-0,35	94,87
56	32	0,50	1,40	0,15	86,49	137	38	2,00	0,45	-0,35	97,44
57	33	0,50	1,20	0,08	89,19	138	1	4,00	8,20	0,91	4,00
58	34	0,50	1,00	0,00	91,89	139	2	4,00	7,40	0,87	8,00
59	35	0,50	1,00	0,00	94,59	140	3	4,00	5,80	0,76	12,00
60	36	0,50	1,00	0,00	97,30	141	4	4,00	5,73	0,76	16,00
61	1	1,00	17,00	1,23	2,50	142	5	4,00	5,67	0,75	20,00
62	2	1,00	14,00	1,15	5,00	143	6	4,00	4,50	0,65	24,00
63	3	1,00	10,02	1,00	7,50	144	7	4,00	4,38	0,64	28,00
64	4	1,00	9,30	0,97	10,00	145	8	4,00	3,50	0,54	32,00
65	5	1,00	9,30	0,97	12,50	146	9	4,00	3,00	0,48	36,00
66	6	1,00	8,50	0,93	15,00	147	10	4,00	2,73	0,44	40,00
67	7	1,00	8,20	0,91	17,50	148	11	4,00	2,50	0,40	44,00
68	8	1,00	6,50	0,81	20,00	149	12	4,00	2,38	0,38	48,00
69	9	1,00	6,00	0,78	22,50	150	13	4,00	2,28	0,36	52,00
70	10	1,00	5,30	0,72	25,00	151	14	4,00	1,98	0,30	56,00
71	11	1,00	4,90	0,69	27,50	152	15	4,00	1,67	0,22	60,00
72	12	1,00	4,30	0,63	30,00	153	16	4,00	1,47	0,17	64,00
73	13	1,00	4,10	0,61	32,50	154	17	4,00	1,20	0,08	68,00
74	14	1,00	3,80	0,58	35,00	155	18	4,00	0,50	-0,30	72,00
75	15	1,00	3,70	0,57	37,50	156	19	4,00	0,47	-0,33	76,00
76	16	1,00	3,50	0,54	40,00	157	20	4,00	0,43	-0,37	80,00
77	17	1,00	3,40	0,53	42,50	158	21	4,00	0,33	-0,48	84,00
78	18	1,00	3,10	0,49	45,00	159	22	4,00	0,33	-0,48	88,00
79	19	1,00	3,00	0,48	47,50	160	23	4,00	0,25	-0,60	92,00
80	20	1,00	2,90	0,46	50,00	161	24	4,00	0,25	-0,60	96,00
81	21	1,00	2,50	0,40	52,50						

Lampiran B. Proyeksi nilai intensitas hujan menurut $p = 5\%$ sampai dengan 95% , dengan interval 5% , pada kelompok durasi hujan (t ; jam)

p (%)	Durasi hujan (t; jam)				
	0,25	0,50	1,00	2,00	4,00
5	24,29	16,56	12,70	10,76	9,80
10	21,00	14,09	10,63	8,91	8,04
15	18,20	12,02	8,92	7,38	6,61
20	15,80	10,27	7,51	6,12	5,43
25	13,74	8,80	6,33	5,09	4,47
30	11,98	7,55	5,34	4,24	3,68
35	10,46	6,50	4,52	3,53	3,04
40	9,15	5,61	3,84	2,95	2,51
45	8,01	4,85	3,26	2,47	2,08
50	7,03	4,20	2,78	2,07	1,72
55	6,18	3,64	2,38	1,74	1,43
60	5,43	3,17	2,03	1,47	1,18
65	4,79	2,76	1,75	1,24	0,99
70	4,22	2,41	1,50	1,05	0,82
75	3,73	2,11	1,29	0,89	0,69
80	3,30	1,84	1,12	0,76	0,57
85	2,92	1,62	0,97	0,64	0,48
90	2,58	1,42	0,84	0,55	0,40
95	2,29	1,25	0,73	0,47	0,34