



ANALISIS BANJIR RANCANGAN DENGAN METODE INVERSELY ESTIMATED RAINFALL

Titiek Widayarsi¹

Diterima 04 Agustus 2007

ABSTRACT

To avoid the paucity of rainfall data, development of flood estimation methods that rely on hydrograph data are required. Hydrograph data are the output of the catchment. It means that all the catchment behaviors are represented in the runoff data. The effect of temporal and the spatial variability of rainfall and the initial soil moisture condition has been represented in the runoff data. Hence, it's necessary research about of design flood used on hydrograph. The research uses 16 flood events collected from Bojongloa sub-river basin and 10 data from Leuwigoong sub-river, which all included Cimanuk river basin in West Java. The filter separation autoregressive method is selected to separate the hydrograph to become baseflow and direct runoff components. The resulted direct runoff is then used for deriving the effective rainfall using inversely estimated rainfall (IER) method. The result of IER rainfall and IER pattern is used in design flood analysis using unit hydrograph IER method. And the observed rainfall are used as comparisons. The result show that design flood with hydrograph IER method is relatively similar with the observed rainfall. The result design flood with hydrograph IER method give accuracy between design flood the result of frequency analysis.

Keywords : hydrograph, inversely estimated rainfalls, unit hydrograph

ABSTRAK

Data automatic rainfall recorder (ARR) untuk menurunkan agihan hujan pada kenyataan di lapangan masih sangat sedikit, disisi lain tersedia data hidrograf yang menggambarkan respon hujan yang memberi kontribusi pada aliran sehingga pengaruh yang timbul akibat variabilitas ruang dan waktu dari hujan serta kondisi initial soil moisture (ISM) sudah tercakup didalamnya. Dengan ketersediaan data

¹ Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Janabadra, Yogyakarta
Jl. Tentara Rakyat Mataram 55-57 Yogyakarta 55231
myson_jayastu@yahoo.co.id / 08122780599

hidrograf tersebut maka perlu dikembangkan suatu metode perkiraan banjir rancangan dengan menggunakan data hidrograf. Pada penelitian ini digunakan 16 data kasus banjir di Sub DAS Bojongloa dan 10 data kasus banjir di Sub DAS Leuwigoong, dimana keduanya masuk wilayah DAS Cimanuk. Pemisahan hidrograf banjir ke dalam komponen langsung (direct runoff) dan aliran dasar (baseflow) dengan filter separation autoregressive (AR) method. Perkiraan hujan efektif dari data hidrograf menggunakan metode inversely estimated rainfalls (IER). Perkiraan banjir rancangan dihitung dengan metode HS IER dan pola agihan IER. Kesalahan relatif yang ditinjau adalah kesalahan relatif antara banjir rancangan dengan HS terhadap banjir rancangan hasil analisis frekuensi. Hidrograf banjir rancangan untuk IER maupun ARR relatif berimpit, hal tersebut menunjukkan bahwa hidrograf banjir yang disebabkan oleh hujan IER menghasilkan hidrograf banjir yang sama dengan kondisi hidrograf banjir akibat hujan terukur. Dibandingkan dengan kondisi banjir aktual dari pengamatan debit maksimum tahunan maka prosentase relatif kesalahan cukup baik.

Kata kunci : *hidrograf, inversely estimated rainfall, hidrograf satuan*

PENDAHULUAN

Indonesia berada di daerah yang beriklim tropis dimana pada musim penghujan mempunyai curah hujan yang relatif cukup tinggi, dan seringkali mengakibatkan terjadi banjir. Setiap perencanaan dan perancangan suatu bangunan hidraulik diperlukan suatu usaha memperkirakan banjir rancangan (*design flood*) agar diperoleh hasil rancangan bangunan yang efektif, efisien dan aman. Salah satu metode perkiraan banjir rancangan untuk bangunan hidraulik adalah dengan metode hidrograf satuan (HS). Penurunan HS memerlukan data hujan durasi pendek dan data hidrograf. Data hujan durasi pendek seperti jam-jaman atau menitan dapat diperoleh dari data *automatic rainfall recorder* (ARR) atau dari data hujan harian yang diagihkan atau didistribusikan ke dalam tinggi hujan dengan pola agihan hujan tertentu. Stasiun hujan otomatis pada kenyataan di lapangan masih sangat sedikit, sementara data hujan terukur yang ada berupa data hujan harian.

Pada kondisi tertentu di suatu DAS sudah banyak terdapat stasiun *automatic water level recorder* (AWLR) dan stasiun hujan manual, sehingga data yang tersedia berupa data hidrograf dan data hujan harian. Dengan ketersediaan data hidrograf maka perlu dikembangkan suatu metode perkiraan hujan dengan menggunakan data hidrograf, sehingga tanpa data hujan terukur dapat dihitung besar banjir rancangan.

Ketersediaan data hujan yang terbatas dapat menimbulkan permasalahan dalam perkiraan banjir rancangan terutama dengan metode HS. Sedangkan pada kondisi tertentu di suatu wilayah hanya memiliki data hidrograf dari pencatatan stasiun AWLR.

Berdasarkan permasalahan di atas maka perlu diteliti metode *Inversely Estimated Rainfalls* (IER) dalam perhitungan banjir rancangan dengan menggunakan data data hidrograf.

Tinjauan Pustaka

Hidrograf merupakan penyajian grafis antara salah satu unsur aliran yaitu debit atau tinggi muka air dengan waktu.

Hidrograf menggambarkan respon terhadap hujan yang memberi kontribusi pada aliran setelah proses infiltrasi, evaporasi, evapotranspirasi yang tergantung kondisi topografi DAS yang ditinjau (Gambar 1).

Suatu hidrograf dapat dianggap sebagai suatu gambaran dari karakteristik fisiografis dan klimatologis yang mengendalikan hubungan antara curah hujan dan besar pengaliran dari suatu DAS (Sobriyah, 2003). Rekaman AWLR adalah hidrograf tinggi muka air, sedangkan hidrograf debit diperoleh dari rekaman AWLR yang dikonversi dengan persamaan liku-kalibrasi (*rating curve*) Penelitian ini mengembangkan metode perkiraan hujan efektif dengan menggunakan data hidrograf yang

disebut metode IER. Besar limpasan langsung jam-jaman dihitung menggunakan Persamaan 1 (Hino dan Hasebe, 1984).

$$q^{(2)}(t) = a_1^{(2)}q^{(2)}(t-1) + a_2^{(2)}q^{(2)}(t-2) + \dots + a_p^{(2)}q^{(2)}(t-p) + \lambda b^{(2)}\hat{r}^{(t)}(t) + \varepsilon^{(2)}(t) \dots\dots\dots(1)$$

dimana :

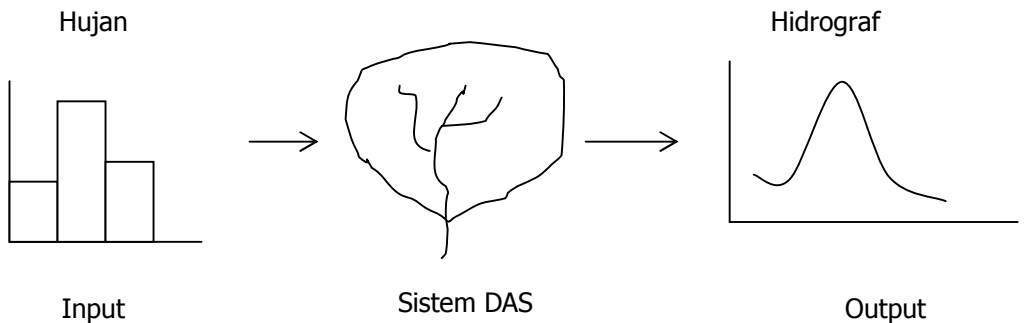
- $a_p^{(2)}$: koefisien AR,
- $b^{(2)}$: koefisien yang dihitung dengan Persamaan 2,
- λ : faktor konversi dihitung dengan Persamaan 3,
- p : orde yang ditinjau.

$$b^{(2)} = 1 - a_1^{(2)} - a_2^{(2)} - a_3^{(2)} - \dots - a_p^{(2)} \dots\dots\dots(2)$$

$$\lambda = \frac{A}{3,6} \dots\dots\dots(3)$$

dimana :

A : luas DAS (km²).



Gambar 1. Skema Respon Hujan terhadap Hidrograf

Koefisien AR dihitung berdasarkan periode resesi data limpasan langsung dengan metode *the Yule-Walker system* (Cryer, 1986). Fungsi *sample autocorrelation* dihitung berdasarkan Persamaan 4.

$$\rho_k = \frac{\sum_{t=k+1}^n (q^{(2)}(t) - \bar{q})(q^{(2)}(t-k) - \bar{q})}{\sum_{t=1}^n (q^{(2)}(t) - \bar{q})^2} = \frac{R_{(t)}}{\sum_{t=1}^n (q^{(2)}(t) - \bar{q})^2} \quad \text{untuk } k = 0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

dimana :

ρ_k : *autocorrelation*,
 \bar{q} : debit limpasan langsung rata-rata.
 $\rho_1 = a_1 + a_2\rho_1 + \dots + a_p\rho_{p-1}$,
 $\rho_2 = a_1\rho_1 + a_2 + \dots + a_p\rho_{p-2}$,
 \vdots
 $\rho_p = a_1\rho_{p-1} + a_2\rho_{p-2} + \dots + a_p$

..... (5)

Persamaan 5 dapat diselesaikan dalam bentuk matriks pada Persamaan 6.

$$\begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \rho_1 & \rho_2 & \dots & \rho_{p-1} \\ \rho_1 & 1 & \rho_1 & \dots & \rho_{p-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{p-1} & \rho_{p-2} & \rho_{p-3} & \dots & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \rho_1 \\ \rho_2 \\ \vdots \\ \rho_p \end{bmatrix} \quad (6)$$

Jika koefisien AR ($a_i^{(2)}$) didapat, maka seri data IER dihitung dengan Persamaan 7.

$$\hat{r}^{(2)}(t) = \frac{1}{\lambda b^{(2)}} (q^{(2)}(t) - a_1^{(2)}q^{(2)}(t-1) - a_2^{(2)}q^{(2)}(t-2) - \dots - a_p^{(2)}q^{(2)}(t-p) - \varepsilon^{(2)}(t)) \quad (7)$$

dimana :

$\hat{r}^{(2)}(t)$: hujan efektif IER (mm/jam).

Hasil penelitian Sujono (2003) hujan IER yang diperoleh dengan menggunakan Persamaan 7, menunjukkan kemiripan pola distribusi antara hujan efektif terukur dengan hujan IER.

Pola agihan IER rerata yang diperoleh pada penelitian Titiek (2005) relatif mirip dengan pola agihan ARR rerata, sehingga pola agihan IER dapat digunakan untuk mengalihragamkan hujan harian menjadi hujan durasi pendek dalam perkiraan banjir rancangan dengan metode HS terukur dari data hujan otomatis.

Hujan efektif dapat diperoleh dari data hidrograf, sehingga kendala yang dihadapi dalam menurunkan HS seperti ketersediaan hujan efektif terukur dapat diatasi oleh metode hujan IER (Uniadi, 2005). Dalam penelitian Uniadi (2005) pola agihan menggunakan metode *Alternating Block Method* (ABM). Pada penelitian ini akan dikembangkan perhitungan banjir rancangan dengan metode HS IER dan pola agihan IER.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan cara perhitungan banjir rancangan dengan metode IER. Dimana metode IER digunakan untuk mendapatkan hujan efektif dari data hidrograf. Dari hujan IER digunakan

untuk menurunkan HS IER dan pola agihan IER.

Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan suatu alternatif pemilihan perhitungan banjir rancangan dengan metode HS sesuai data yang dimiliki (khususnya data hidrograf) dan tepat dalam penerapan tanpa mengurangi kualitas hasil rancangan.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian

Lokasi penelitian terdiri dari Sub DAS Bojongloa dan Sub DAS Leuwigoong dengan didasarkan pada ketersediaan data yang diperlukan meliputi :

- a. Data AWLR sebagai data hidrograf banjir, rincian data dapat dilihat pada Tabel 1.

- b. Data hujan harian maksimum tahunan untuk mendapatkan hujan DAS yang kemudian digunakan untuk menghitung hujan rancangan dengan metode analisis frekuensi. Data hujan DAS yang diperoleh dalam penelitian ini untuk Sub DAS Bojongloa sebanyak 14 data (1987-2000) dan Sub DAS Leuwigoong sebanyak 8 data (1992-1999).

Data banjir maksimum tahunan untuk mendapatkan banjir rancangan dengan metode analisis frekuensi. Data debit banjir yang diperoleh dalam penelitian ini untuk Sub DAS Bojongloa sebanyak 13 data (1987-2000) dan Sub DAS Leuwigoong sebanyak 16 data (1974-1989).

Tabel 1. Stasiun Pengukuran AWLR pada Lokasi Penelitian

No	Stasiun	Sungai	A (km ²)	Kejadian banjir (th.bl.hr)		Jumlah					
1	Bojongloa	Cimanuk	182,90	76.05.06	81.11.13	16					
				77.02.03	83.02.18						
				78.03.01	83.03.07						
				78.05.04	83.03.15						
				78.11.18	83.04.08						
				79.02.17	83.07.18						
				79.02.22	84.10.27						
				81.03.05	86.06.15						
				2	Leuwigoong		Cimanuk	771,75	77.11.25	80.02.27	10
									78.12.21	81.02.17	
									79.06.29	81.03.04	
									79.12.15	81.03.22	
									80.01.12	84.03.22	

Analisis Hujan Efektif IER

Langkah kerja sebagai berikut.

- a. Data AWLR yang berupa data elevasi muka air diubah menjadi debit dengan menggunakan persamaan liku-kalibrasi (*rating curve*), sehingga diperoleh hidrograf debit.
- b. Kurva resesi pada hidrograf banjir digambar dengan skala semi logaritmik diperoleh besar konstanta resesi (K) terhadap kemiringan kurva resesi sehingga diperoleh besar *cut-off frequency* (f_c).
- c. Pemisahan komponen hidrograf banjir menjadi hidrograf *baseflow* dan HLL.

- d. Data HLL dipergunakan untuk menghitung seri data hujan efektif IER ($\hat{r}^{(2)}_{(t)}$) dengan menggunakan Persamaan 6, setelah dihitung koefisien AR ($a_i^{(2)}$) dengan persamaan matrik (Persamaan 5).

Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian secara jelas dapat dilihat pada Gambar 2.

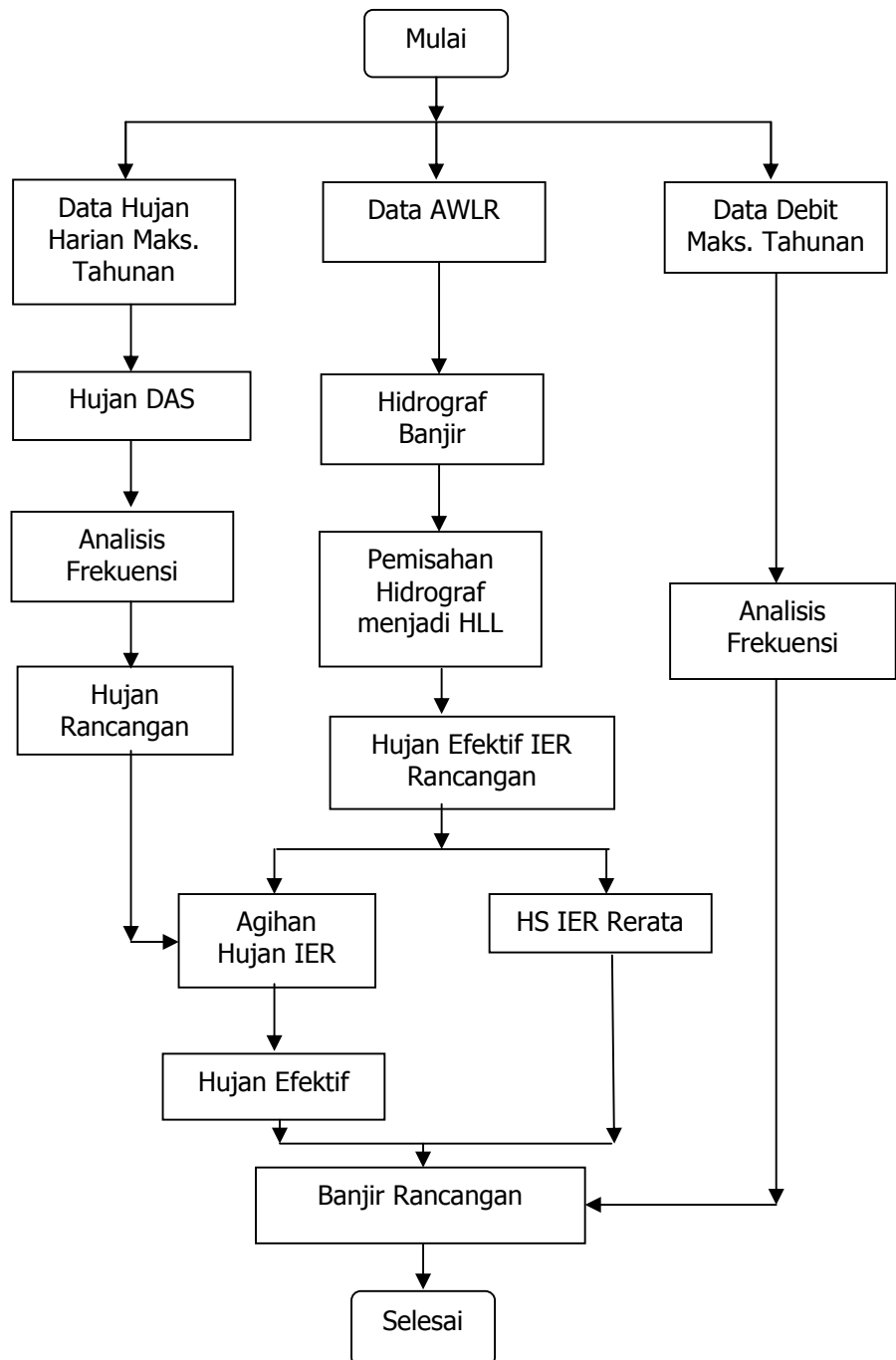
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hujan Efektif IER

Perkiraan hujan dengan menggunakan data hidrograf pada penelitian ini menghasilkan hujan IER.

Tabel 2. Hasil Perhitungan IER Sub DAS Bojongloa

Jam	Data ke-/ Tanggal															
ke-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0,04	0,03	0,07	0,08	2,25	0,19	1,25	0,55	2,29	0,15	0,27	1,37	3,20	0,30	1,02	2,24
2	0,09	2,84	2,14	2,89	5,25	3,33	4,36	3,88	3,24	4,52	1,25	2,19	5,45	1,50	8,58	3,82
3	0,39	3,12	1,42	1,46		0,25		6,26	2,71	0,67	4,76	0,07	2,81	9,10	3,98	0,81
4	0,22	1,59	3,18	4,38		0,92			2,56	0,78	3,09	2,02		0,94	2,27	0,29
5	1,12	0,41	2,20	0,45		0,09				0,42	0,08	4,78				0,51
6	10,77	0,39	0,08	0,55		0,05				0,24	0,33					0,38
7	1,20	0,03	0,26			0,07				0,37	0,15					0,30
8		0,07				0,01				0,33	0,10					0,42
9		0,13				0,03				0,33						0,19
10						0,03				0,25						0,24
11										0,26						
12										0,22						
13										0,22						
14										0,19						
15										0,19						
16										0,14						
17										0,12						
18										0,09						



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Tabel 3. Hasil Perhitungan IER Sub DAS Leuwigoong

Jam	Data									
ke-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,03	0,78	2,28	0,12	0,10	0,02	0,02	0,01	0,15	0,02
2	0,48	2,80	3,35	2,19	0,02	0,97	0,04	0,21	0,13	0,45
3	1,24	1,95	0,68	1,86	1,23	0,44	0,09	3,07	0,29	0,30
4	0,28	0,88	2,08	0,52	0,70	0,37	0,27	1,33	1,72	1,27
5	0,20	1,76	1,42	0,29	0,11	0,22	3,82	0,43		0,00
6	0,07	2,98	3,69	0,22	0,30	0,16	0,95	0,13		0,18
7	0,09			0,09		0,09	0,36			0,23
8	0,06			0,28		0,02	0,33			0,13
9	0,02			0,10			0,26			0,08
10	0,01						0,07			0,05
11							0,04			0,02
12							0,07			

Analisis Pola Agihan IER

Pola agihan dapat diperoleh dari distribusi hujan dengan durasi pendek, seperti hujan jam-jaman. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini berupa hujan IER yang merupakan hujan durasi pendek, sehingga distribusi hujan IER dapat diolah menjadi pola agihan hujan IER. Pola agihan hujan yang diperoleh pada penelitian ini adalah pola agihan merata dari data Sub DAS Bojongloa dan Sub DAS Leuwigoong.

Pada penelitian ini digunakan pula hasil penelitian Titiek (2005) yang berupa pola agihan ARR merata untuk akan digunakan sebagai pembandingan dengan pola agihan IER merata hasil analisis pada penelitian ini. Gambar pola agihan IER merata dan ARR merata dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3 menunjukkan bahwa pola agihan IER merata relatif mirip atau berimpit dengan pola agihan ARR

rerata, sehingga pola hujan IER yang dihasilkan memiliki pola yang sama dengan hujan terukur. Pola agihan hujan digunakan untuk mengagihkan hujan rancangan yang berupa hujan harian menjadi hujan dengan durasi pendek.

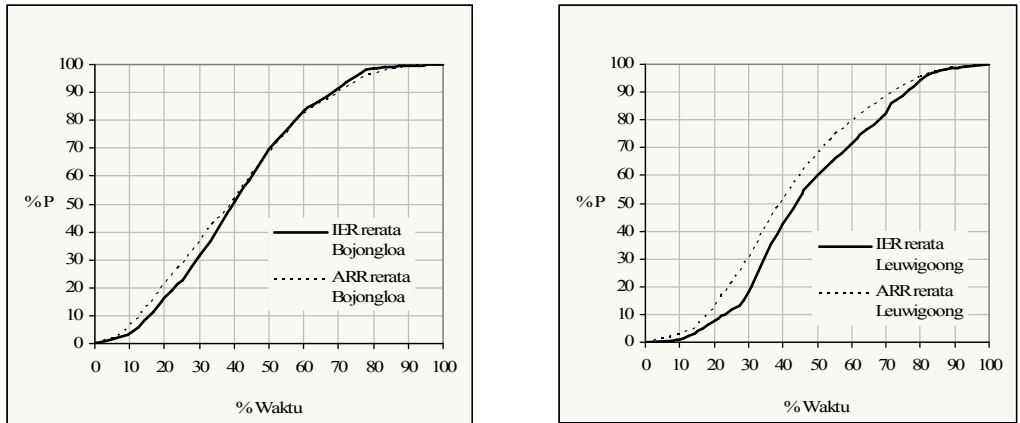
Analisis HS IER

Penelitian ini menggunakan HS terukur dengan metode Collins dari data IER menjadi HS IER.

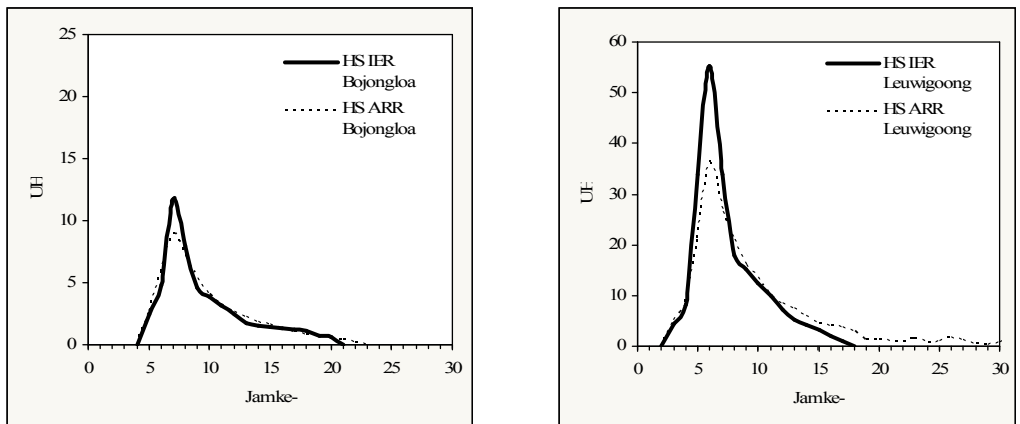
Hasil HS IER tiap kejadian dari beberapa kasus banjir dirata-ratakan menjadi HS IER merata.

Dalam penelitian ini juga dihitung HS ARR merata (*observed rainfall*) sebagai pembandingan.

Hasil perhitungan HS IER merata HS ARR merata Sub DAS Bojongloa dan Sub DAS Leuwigoong dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Pola Agihan IER dan ARR



Gambar 4. Pola Agihan IER dan ARR

Analisis Banjir Rancangan

Hujan rancangan yang diperoleh dari analisis frekuensi data hujan DAS yang diperoleh dengan menggunakan metode poligon Thiessen. Pada penelitian ini perhitungan hujan rancangan untuk kala ulang 50 dan 100 tahunan, hasil dapat dilihat pada Tabel 4.

Banjir rancangan dengan hasil analisis frekuensi dapat dilihat pada Tabel 5.

Durasi hujan perlu diketahui untuk perkiraan banjir rancangan, durasi hujan didekati dengan waktu konsentrasi (t_c). Hasil perhitungan pada Tabel 6.

Tabel 4. Hujan Rancangan Hasil Analisis Frekuensi

No.	Sub-DAS	P _T (mm)		Keterangan
		P ₅₀	P ₁₀₀	
1	Bojongloa	71	75	Normal
2	Leuwigoong	62	64	Normal

Tabel 5. Banjir Rancangan Hasil Analisis Frekuensi

No.	Sub-DAS	Q _T (m ³ /s)		Distribusi Data
		Q ₅₀	Q ₁₀₀	
1	Bojongloa	132	152	Log Normal
2	Leuwigoong	484	542	Log Pearson III

Tabel 6. *Baseflow* Rerata dan Durasi Hujan

No.	Sub-DAS	Luas Sub-DAS (km ²)	Q _b (m ³ /s)	Durasi Hujan (jam)
1	Bojongloa	182,90	12,78	5
2	Leuwigoong	771,75	20,08	9

Banjir rancangan dapat dihitung dengan Persamaan 8 di bawah ini :

$$Q_n = \sum_{m=1}^{m \geq n} P_m U_k + Q_b \dots\dots\dots (8)$$

dimana :

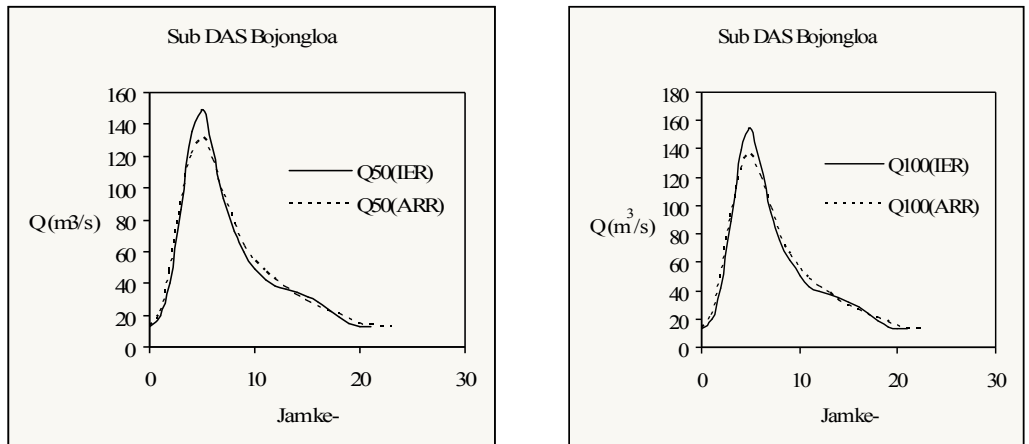
- Q_n : banjir rancangan (m³/s),
- Q_b : *baseflow* (m³/s),
- P : hujan efektif,
- U : ordinat HS,
- k : jumlah ordinat HS,
- m : jumlah periode hujan.

Hasil banjir rancangan dengan metode HS IER rerata dan metode HS ARR rerata tiap kala ulang dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.

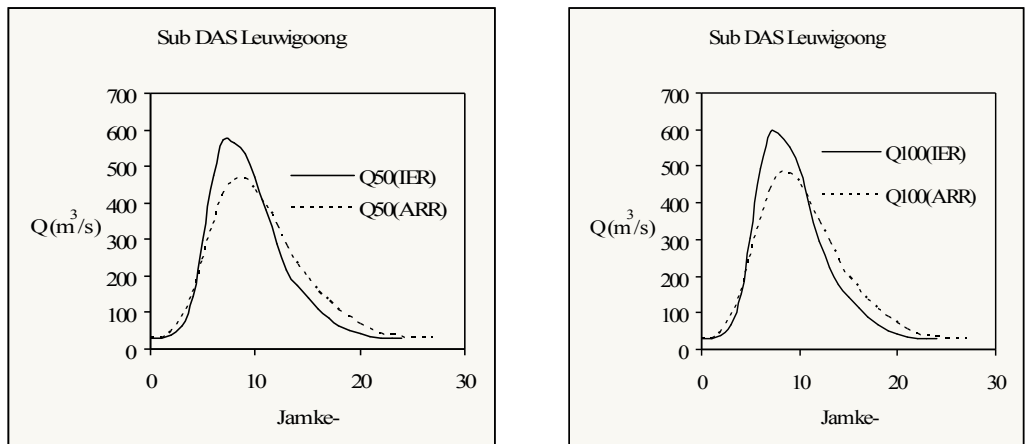
Kriteria statistik diperlukan untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara banjir rancangan dengan metode analisis frekuensi dengan banjir rancangan dengan metode HS IER

maupun ARR. Kesalahan relatif dihitung dengan Persamaan 8, hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 7.

Pada Gambar 5 dan Gambar 6 terlihat bahwa hidrograf banjir rancangan untuk IER maupun ARR relatif berimpit. Hal tersebut menunjukkan bahwa hidrograf banjir yang disebabkan oleh hujan IER menghasilkan hidrograf banjir yang sama dengan kondisi hidrograf banjir akibat hujan terukur. Bila dibanding dengan kondisi aktual dari pengamatan debit setelah dianalisis frekuensi maka relatif kesalahan cukup baik karena kurang dari 20 %. Dari hasil analisis yang dilakukan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa hujan yang diperoleh dari data hidrograf dengan metode IER dapat digunakan untuk memperkirakan banjir rancangan. Baik untuk menurunkan HS IER maupun pola agihan hujan IER.



Gambar 5. Banjir Rancangan Sub DAS Bojongloa



Gambar 6. Banjir Rancangan Sub DAS Leuwigoong

Tabel 7. Prosentase Kesalahan Relatif

Sub DAS	Pola Agihan dan HS	Q ₅₀	Q ₁₀₀	% Q ₅₀	% Q ₁₀₀
Bojongloa	IER	149	154	-13	-1
	ARR	132	136	0	11
	AF	132	152		
Leuwigoong	IER	572	593	-18	-9
	ARR	465	481	4	11
	AF	484	542		

AF = Analisis Frekuensi

KESIMPULAN

Dari hasil analisis yang dilakukan dalam penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa Hidrograf banjir rancangan untuk IER maupun ARR relatif berimpit, hal tersebut menunjukkan bahwa hidrograf banjir yang disebabkan oleh hujan IER menghasilkan hidrograf banjir yang sama dengan kondisi hidrograf banjir akibat hujan terukur.

Dibandingkan dengan kondisi banjir aktual dari pengamatan debit maksimum tahunan maka prosentase relatif kesalahan cukup baik.

Hujan yang diperoleh dari data hidrograf dengan metode IER dapat digunakan untuk memperkirakan banjir rancangan, baik itu untuk menurunkan HS IER maupun pola agihan hujan IER.

Metode *Inversely Estimated Rainfalls* (IER) dapat dipergunakan untuk memperkirakan banjir rancangan.

DAFTAR PUSTAKA

Cryer, J.D., (1986). *Time Series Analysis*, Duxbury Press, Boston

Sujono, J., (2003). *Parameter Identification and regionalization of Unit Hydrograph and Storage Fuction Model in Tropical River Basin*, Thesis, Departement of Bioproduction Enviromental Science Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University, Fukuoka, Japan

Sobriyah, (2003). *Pengembangan Model Perkiraan Banjir Daerah Aliran Sungai Besar dari Sintesa Beberapa Persamaan Terpilih*, Desertasi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Titiek, W., (2005). *Analisis Agihan Hujan Berdasarkan Data Hidrograf*, Sekolah Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Uniadi, M., (2005). *Penurunan Hidrograf Satuan Tanpa Data Hujan*, Sekolah Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta