

HIDROGRAF SATUAN: PERMASALAHAN DAN ALTERNATIVE PENYELESAIAN

Joko Sujono¹⁾, Rachmad Jayadi¹⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan,
Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
Jalan Grafika No. 2 Yogyakarta 55281

ABSTRACT

Unit hydrograph is one of flood design method that commonly used in Indonesia. Problems emerge in the unit hydrograph application including high rainfall variability both time and space, lack of automatic rainfall data needed for unit hydrograph derivation. However, the output of the catchment system called hydrograph that represent all the phenomena in the system is available. So, effect of rainfall variability on unit hydrograph and the possibility to derive unit hydrograph based on hydrograph data without rainfall data need to be studied.

Unit hydrograph derivation is done by using different rainfall input i.e. single station, rainfall catchment and inverse effective rainfall derived based on hydrograph alone. The resulted unit hydrographs are then used for design flood calculation.

Results show that the resulted unit hydrographs vary among the different rainfall inputs. The difference in peak relative to unit hydrograph derived based on average rainfall for Bedog, Code and Winongo catchments could reach -18%, -30% and -11%, respectively. This result indicates that in the catchment studied, the rainfall variability is relatively high. However, the difference in flood peak is quite small, that is up to -12% for all the catchments. There is a trend that the station closest to the catchment centroid gives small bias in design flood relative to the design flood computed based on average rainfall.

KEYWORDS: hydrograph, unit hydrograph, rainfall variability, design flood

PENDAHULUAN

Banyak model hujan-aliran untuk prakiraan banjir rancangan yang telah dikembangkan dan diterapkan di daerah aliran sungai (DAS) untuk perancangan bangunan hidraulik. Salah satu metode yang masih banyak diterapkan untuk prakiraan banjir rancangan adalah hidrograf satuan. Metoda hidrograf satuan merupakan metode yang sederhana, mudah dalam penerapannya, dan memberikan hasil prakiraan hidrograf banjir yang relatif akurat jika dibandingkan dengan banjir rancangan hasil analisis frekuensi debit.

Hidrograf satuan yang dikembangkan oleh Sherman pada tahun 1932 adalah hidrograf limpasan langsung yang dihasilkan oleh satu unit hujan efektif dengan intensitas yang tetap, terdistribusi merata diseluruh DAS dalam satuan waktu tertentu (Barfield et al., 1983). Di Indonesia yang merupakan daerah tropis mempunyai variabilitas hujan yang tinggi baik ruang dan waktu. Ini berarti diperlukan lebih banyak stasiun hujan untuk memperoleh hujan rerata DAS yang mencerminkan sifat hujan di DAS tersebut. Kondisi ini hampir tidak mungkin terpenuhi dimana

sekarang ini tidak banyak stasiun hujan dalam suatu DAS dan walaupun ada lokasinya pun tidak merata di DAS. Selain itu pada umumnya data hujan yang tersedia berupa data hujan harian, sedangkan untuk aplikasi hidrograf satuan membutuhkan data hujan durasi yang lebih pendek misalnya jam-jaman.

Selain permasalahan data hujan, dalam teori hidrograf satuan juga melekat beberapa anggapan yang sulit dipenuhi. Anggapan tersebut antara lain bahwa sistem yang ada merupakan sistem linier dan tidak berubah dengan waktu (*time invariant*). Anggapan ini mencerminkan bahwa hidrograf satuan merupakan sistem linier sederhana (Chow et.al., 1988), sedangkan hubungan hujan-aliran yang linier dan *time invariant* tidak sepenuhnya dapat dipenuhi di lapangan.

Yue dan Hashino (2000) menyebutkan bahwa masih ada permasalahan lain yang muncul selain kebutuhan data hujan durasi pendek dan *non-linearity* dalam hidrograf satuan. Hidrograf satuan terukur untuk suatu kejadian banjir diturunkan dari hidrograf limpasan langsung dan hujan penyebab banjir tersebut. Kenyataannya, hidrograf yang terukur di AWLR dapat terdiri dari banyak komponen aliran seperti limpasan permukaan, aliran antara dan aliran air tanah atau aliran dasar. Pada waktu hujan, komponen tersebut bercampur pada waktu dan pola yang berbeda. Oleh karena itu sebelum dilakukan analisis penurunan hidrograf satuan komponen aliran dasar harus dipisahkan dari hidrografnya.

Dalam praktek, hidrograf satuan yang diturunkan dari banyak kejadian banjir akan bervariasi dari kejadian yang satu dengan yang lain. Kejadian ini mungkin terjadi akibat variabilitas hujan baik ruang dan waktu, pengaruh kondisi kelengasan tanah dan proses hujan-aliran yang tidak linier. Dengan demikian, variabilitas hujan, pengaruh sifat hujan-aliran yang tidak linier dan kontribusi komponen aliran dalam hidrograf perlu dikaji lebih lanjut dalam penurunan hidrograf satuan dari suatu kasus banjir.

AGIHAN HUJAN

Data hujan durasi pendek dari stasiun hujan otomatis yang diperlukan untuk penerapan teori hidrograf satuan pada umumnya tidak tersedia. Dengan demikian agihan hujan hujan yang digunakan untuk penurunan hidrograf satuan dan perancangannya pun tidak diketahui. Chow et al (1988) dan Koutsoyiannis (1994) menyajikan beberapa model agihan hujan untuk perancangan seperti agihan seragam, bentuk segitiga, bentuk bel dan agihan hujan *alternating block method* (ABM). Sujono (1998) menggunakan model ABM dan hujan harian untuk menurunkan hidrograf satuan dan memberikan hasil yang cukup baik, akan tetapi penggunaan agihan ABM untuk

prakiraan banjir rancangan cenderung *overestimated* relatif terhadap banjir rancangan berdasarkan hasil analisis frekuensi debit.

Edy Sukoso (2004) mencoba mencari pola agihan/agihan hujan untuk wilayah sekitar Gunung Merapi seperti DAS Bedog, Code, dan Winongo. Hasil analisis agihan hujan berdasarkan setasiun hujan otomatis yang tersedia diperoleh hasil yang mirip untuk DAS tersebut. Pada umumnya hujan di atas 50 mm terjadi selama 4 sampai 5 jam, dengan prosentase tertinggi hujan terjadi pada jam ke-dua. Agihan hujan rerata untuk DAS tersebut disajikan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Agihan hujan DAS Bedog, Code dan Winongo

| DAS | Prosentase hujan (%) jam ke- | | | | |
|---------|------------------------------|-------|-------|-------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Bedog | 30.64 | 35.49 | 22.47 | 11.40 | 0.00 |
| Code | 25.65 | 27.00 | 22.58 | 15.75 | 9.02 |
| Winongo | 30.95 | 34.69 | 22.52 | 11.84 | 0.00 |

INVERSE ESTIMATED RAINFALL

Hino dan Hasebe (1981, 1984, 1986) mengembangkan teori *inverse hydrology (inverse estimated rainfall, IER)* untuk menurunkan hujan yang terjadi pada suatu DAS berdasarkan data hidrograf alirannya atau keluaran dari sistem DAS. Dengan demikian pengaruh variabilitas hujan di DAS dan kondisi kelengasan tanah awal sudah terwakili dalam hidrograf tersebut. Selain itu ketidaklinieran sistem DAS diakibatkan oleh pengaruh hujan ke dalam komponen alirannya baik aliran permukaan, antara ataupun aliran dasar (Hino, 1984). Untuk itu sebelum analisis IER dilakukan, terlebih dahulu dilakukan pemisahan aliran/hidrograf kedalam komponen alirannya, sehingga dapat diketahui komponen hujan penyebab setiap komponen aliran tersebut.

Analisis hujan efektif (IER) DAS berdasarkan data hidrograf limpasan langsung tidak menggunakan seluruh hidrografnya. Masukan dalam sistem DAS dianggap sama dengan nol setelah hujan berhenti sehingga ARMA model dapat diganti dengan autoregressive (AR) model (Hino dan Hasebe, 1984). Dengan demikian bagian atau sisi resesi dari hidrograf dapat dipakai untuk menjelaskan sistem DAS. Jika koefisien AR (a_i) telah diketahui, maka seri data hujan efektif IER dapat dihitung berdasarkan Persamaan 1.

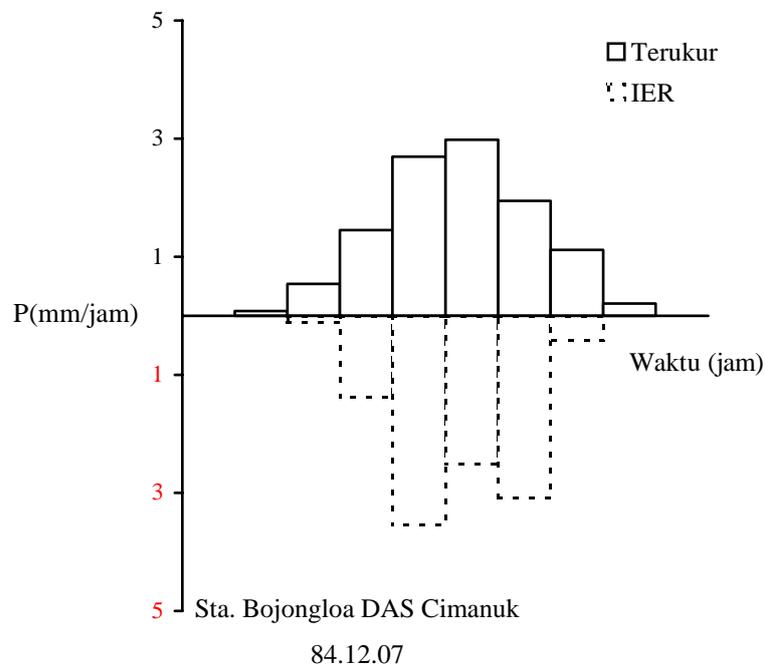
$$\hat{r}_{(t)} = \frac{1}{\lambda b} (q_{(t)} - a_1 q_{(t-1)} - a_2 q_{(t-2)} - \dots - a_p q_{(t-p)} - \varepsilon_{(t)}) \quad (1)$$

dengan:

$\hat{r}_{(t)}$: hujan efektif IER (mm/jam),

- $q_{(t)}$: ordinat hidrograf sisi resesi (m^3/s),
 a_p : koefisien AR,
 p : orde AR yang ditinjau.
 $b = 1 - a_1 - a_2 - a_3 - \dots - a_p$
 $\lambda = \frac{A}{3,6}$
 A : luas DAS (km^2).

Aplikasi AR model untuk menurunkan hujan efektif berdasar kasus banjir di Indonesia memberikan hasil yang mirip antara IER dengan hujan efektif terukur berdasarkan data hujan otomatis seperti pada pada Gambar 1 (Sujono, 2003).

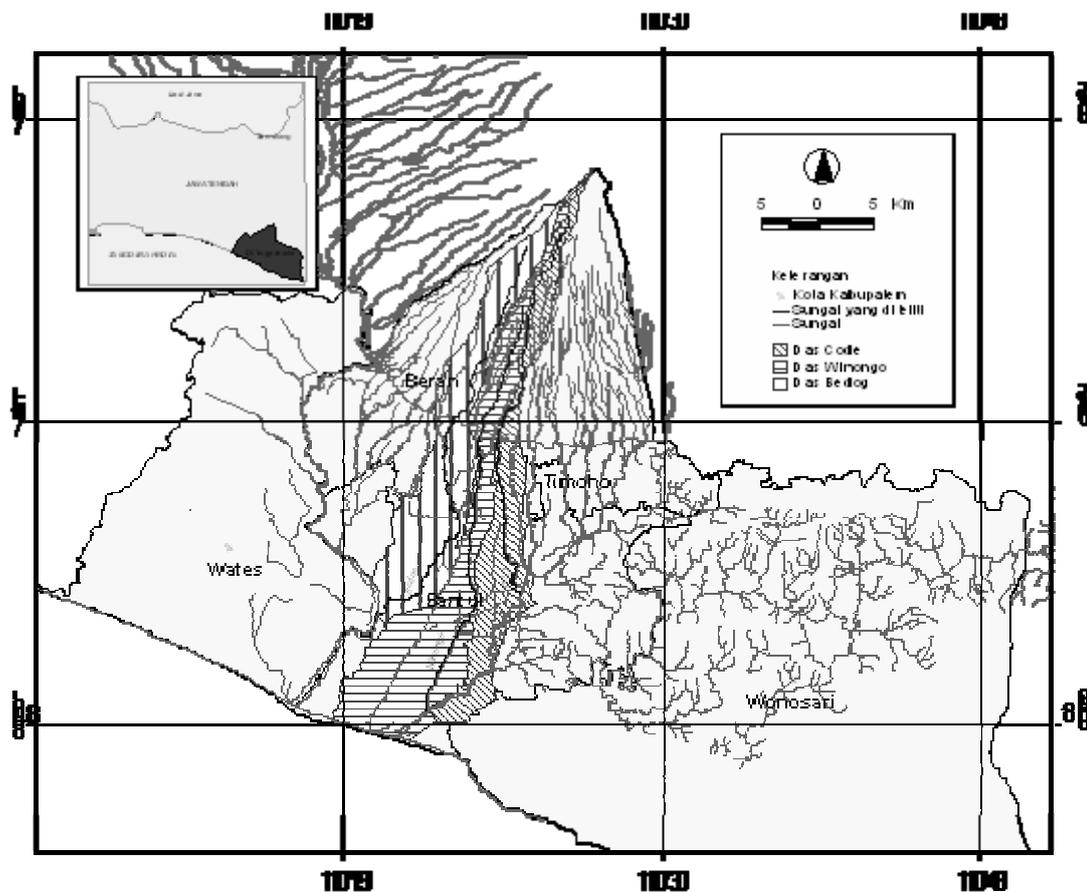


Gambar 1. Hujan efektif terukur dan IER.

METODOLOGI PENELITIAN

1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di Daerah Istimewa Yogyakarta dengan obyek penelitian sebanyak 3 (tiga) DAS yaitu DAS Bedog di Guwosari, DAS Code di Kaloran dan DAS Winongo di Padokan seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Lokasi penelitian.

2. Data Kejadian Banjir

Untuk penurunan hidrograf satuan diperlukan data hujan durasi pendek penyebab banjir dan data hidrograf banjir. Berdasarkan data hidrograf banjir yang ada dari tahun 1988 sampai dengan tahun 2004, dipilih hidrograf banjir tunggal dengan puncak banjir yang relatif besar. Selanjutnya dicari data hujan durasi pendek penyebab banjir tersebut di seluruh stasiun hujan yang ada di DAS yang ditinjau (minimal banjir diakibatkan oleh hujan di 2 stasiun hujan yang ada). Kejadian banjir terpilih untuk masing-masing DAS disajikan pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 4.

Tabel 2. Kejadian banjir terpilih DAS Bedog di Guwosari (A=111.82 km²)

| No. | Tanggal kejadian | Debit puncak (m ³ /s) | Debit spesifik (m ³ /s/km ²) |
|-----|------------------|----------------------------------|---|
| 1 | 20 Oktober 1998 | 115,65 | 1,03 |
| 2 | 30 Oktober 1998 | 41,68 | 0,37 |
| 3 | 16 Nopember 1999 | 70,3 | 0,63 |
| 4 | 08 Januari 1999 | 73,66 | 0,66 |
| 5 | 07 Maret 1999 | 69,21 | 0,62 |

| | | | |
|---|------------------|-------|------|
| 6 | 14 Februari 2002 | 62,92 | 0,56 |
|---|------------------|-------|------|

Tabel 3. Kejadian banjir terpilih DAS Code di Kaloran ($A=41.07 \text{ km}^2$)

| No. | Tanggal kejadian | Debit puncak (m^3/s) | Debit spesifik ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$) |
|-----|------------------|--|--|
| 1 | 20 Februari 1998 | 31,49 | 0,28 |
| 2 | 15 Juni 1998 | 49,18 | 0,44 |
| 3 | 13 Desember 1999 | 28,59 | 0,26 |
| 4 | 25 Desember 2002 | 45,94 | 0,41 |
| 5 | 08 Februari 2003 | 19,62 | 0,18 |
| 6 | 01 Desember 2003 | 36,11 | 0,32 |
| 7 | 29 Januari 2004 | 22,62 | 0,20 |
| 8 | 20 Februari 2004 | 34,53 | 0,31 |
| 9 | 22 Desember 2004 | 22,00 | 0,20 |

Tabel 4. Kejadian banjir terpilih DAS Winongo di Padokan ($A=48.85 \text{ km}^2$)

| No. | Tanggal kejadian | Debit puncak (m^3/s) | Debit spesifik ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$) |
|-----|------------------|--|--|
| 1 | 31 Januari 1998 | 32,12 | 0,29 |
| 2 | 09 April 1998 | 32,88 | 0,29 |
| 3 | 15 Juni 1999 | 54,68 | 0,49 |
| 4 | 20 Oktober 1998 | 29,21 | 0,26 |
| 5 | 16 Nopember 1998 | 31,98 | 0,29 |
| 6 | 09 Januari 1999 | 41,09 | 0,37 |
| 7 | 03 Maret 2003 | 19,83 | 0,18 |

Minimnya kasus banjir seperti pada tabel di atas, dikarenakan dalam banyak kasus banjir yang ada, data hujan durasi pendek tidak tersedia dikarenakan alat rusak atau sebab lain.

3. Analisis Hidrograf Satuan

Mengingat permasalahan utama dalam penerapan hidrograf satuan adalah variabilitas hujan baik ruang dan waktu, minimnya ketersediaan data hujan durasi pendek serta proses transformasi hujan aliran yang tidak linier, maka dalam penelitian ini akan dikaji pengaruh beberapa macam masukan data hujan dalam penurunan hidrograf satuan dan penerapannya untuk prakiraan banjir rancangan. Dalam penelitian ini hujan penyebab banjir untuk menurunkan hidrograf satuan dari suatu kejadian banjir didasarkan pada:

- a. hujan durasi pendek (jam-jaman) di setiap stasiun yang ada dalam DAS,
- b. hujan durasi pendek rerata DAS (rerata aljabar),

- c. hujan efektif DAS berdasarkan hasil analisis *inverse hydrology* berdasarkan hanya pada data hidrograf .

Penurunan hidrograf satuan untuk pasangan hidrograf banjir dan hujan durasi pendek penyebab banjir tersebut dilakukan dengan metode Collins. Prosedur penurunan hidrograf satuan dengan metode Collins dapat dilihat di Pilgrim et.al. (1987).

4. Analisis Banjir Rancangan

Debit banjir rancangan dalam penelitian ini dihitung dengan mentransformasikan hujan rancangan dengan hidrograf satuan terukur di DAS yang ditinjau. Analisis frekuensi data debit maksimum tidak dilakukan mengingat ketersediaan data yang terlalu pendek. Banjir rancangan dengan metode hidrograf satuan dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut ini.

- hujan rancangan diagihkan menjadi hujan jam-jaman berdasarkan pola agihan hujan terukur untuk DAS yang ditinjau (Edy Sukoso, 2004),
- hujan efektif dihitung menggunakan metode *indeks- ϕ* rerata dari hasil perhitungan indeks ϕ berdasarkan hujan rerata DAS,
- banjir rancangan dihitung berdasarkan hidrograf satuan rerata dari beberapa kejadian banjir yang dapat ditulis dalam bentuk Persamaan 2 di bawah ini.

$$Q_n = \sum_{m=1}^{m \geq n} P_m U_k + Q_b \quad (2)$$

dengan :

- Q_n = banjir rancangan (m^3/s),
- Q_b = aliran dasar (m^3/s),
- P_m = hujan efektif,
- U_k = ordinat hidrograf satuan,
- k = jumlah ordinat HS,
- m = durasi hujan,
- n = durasi banjir.

- banjir rancangan berdasarkan hidrograf satuan tersebut ditambah dengan *baseflow* yang merupakan nilai rerata dari kejadian banjir yang ada untuk memperoleh hidrograf total.

5. Hitungan ketelitian banjir rancangan

Besarnya penyimpangan banjir rancangan hasil penerapan metode hidrograf satuan berdasar data satu stasiun hujan dan tanpa data hujan (IER) relatif terhadap banjir rancangan acuan yang diperoleh berdasarkan hidrograf satuan dengan hujan rerata DAS dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$\Delta Q_p = \frac{|Q_{HS-R} - Q_{HS-S/IER}|}{Q_{HS-R}} \times 100 \% \quad (3)$$

dengan :

ΔQ_p : kesalahan relatif debit puncak (%),

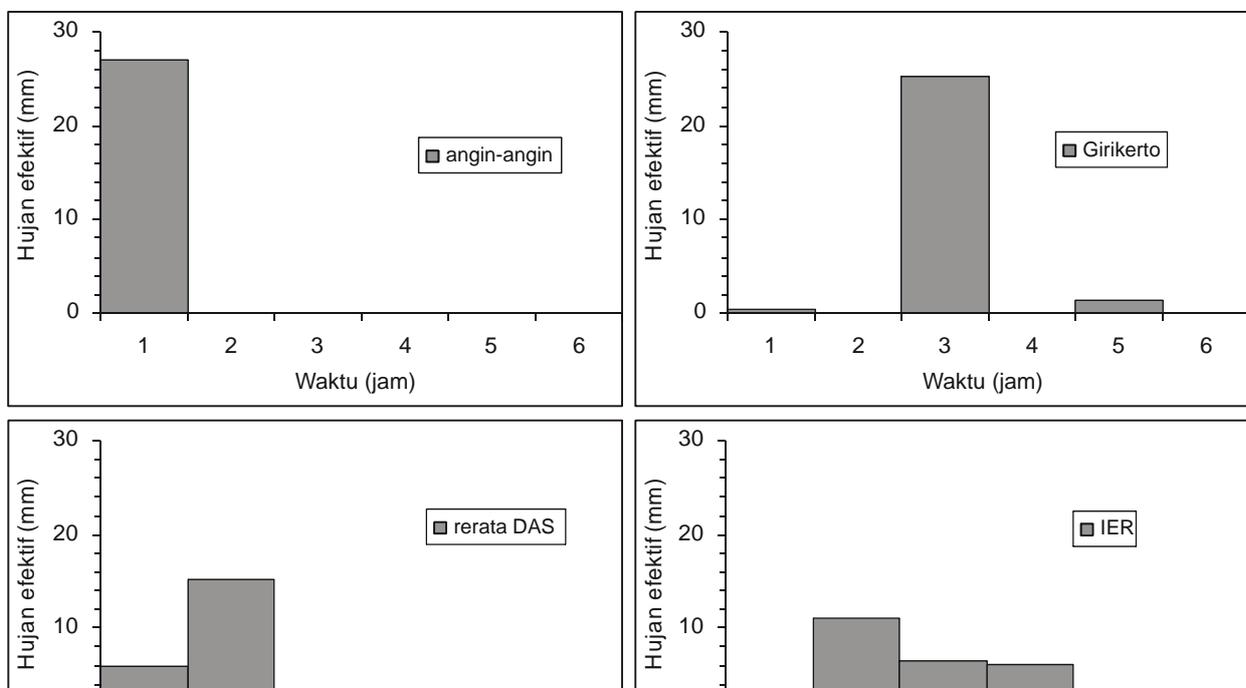
Q_{HS-R} : debit puncak dengan hidrograf satuan hujan rerata DAS (m^3/s),

$Q_{HS-S/IER}$: debit puncak dengan hidrograf satuan satu setasiun hujan atau dengan IER (m^3/s).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hujan Efektif

Variabilitas hujan yang tinggi baik kedalaman dan lama hujan diantara stasiun hujan yang ada dalam suatu DAS akan mempengaruhi hidrograf satuan yang dihasilkan dari suatu kejadian banjir. Hal tersebut dapat dipahami mengingat salah satu anggapan dalam teori hidrograf satuan adalah hujan merata di seluruh DAS. Anggapan tersebut terlalu sulit untuk dipenuhi khususnya untuk daerah tropis dengan variabilitas hujan yang tinggi. Contoh variabilitas pola hujan efektif, yang merupakan selisih antara intensitas hujan dengan kehilangan air hujan seperti akibat infiltrasi, untuk stasiun hujan yang berbeda yang digunakan sebagai masukan dalam penurunan hidrograf satuan DAS Winongo di Padokan disajikan pada Gambar 3. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa pola kejadian hujan/ agihan hujan penyebab banjir sangat bervariasi dari hujan di satu stasiun dengan stasiun lainya. Hal ini tentu saja akan memberikan hidrograf satuan yang bervariasi pula.



Gambar 3. Hujan efektif untuk penurunan hidrograf satuan (15 Juni 1998).

2. Indeks

Variabilitas hujan yang tinggi antar stasiun hujan dalam DAS akan berpengaruh terhadap besarnya indeks- ϕ apabila stasiun hujan tersebut akan digunakan untuk analisis hidrograf dari suatu kasus banjir. Hasil analisis indeks- ϕ menunjukkan bahwa analisis hidrograf dengan berdasarkan pada informasi hujan satu stasiun dalam DAS yang ditinjau dapat memberikan nilai indeks- ϕ yang kurang realistis baik terlalu kecil ataupun terlalu besar. Sebagai contoh besarnya indeks- ϕ berdasarkan stasiun Angin-angin untuk DAS Winongo di Padokan pada kejadian banjir tanggal 9 April 1998 sebesar 57,3 mm/jam. Nilai ini tentunya kurang realistis untuk kondisi DAS Winongo. Nilai indeks- ϕ yang sangat besar tersebut disebabkan hujan yang tercatat di stasiun Angin-angin sebesar 70 mm dan hanya terjadi selama satu jam, sedang tinggi hidrograf limpasan langsungnya hanya 12,7 mm.

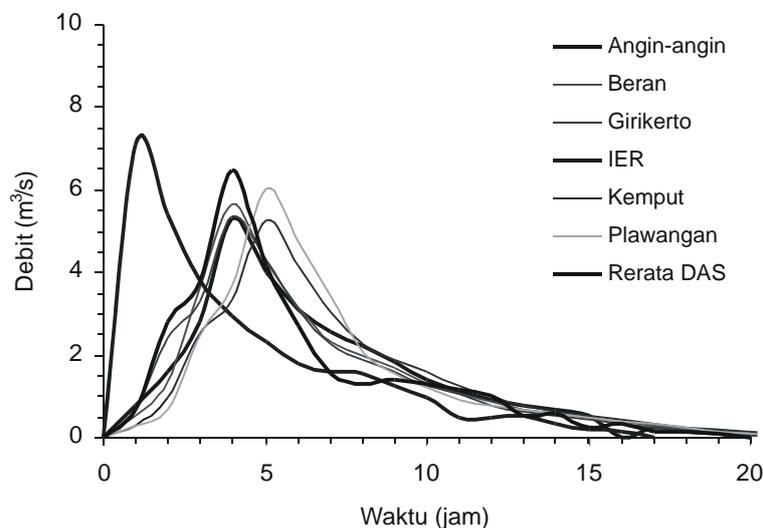
Berdasarkan kondisi tersebut di atas, maka perlu kehati-hatian dalam menentukan besarnya indeks- ϕ khususnya untuk prakiraan banjir rancangan yang didasarkan pada hujan rancangan. Selanjutnya, dalam penelitian ini indeks- ϕ yang didasarkan pada analisis hidrograf berdasarkan masukan rerata hujan DAS dipilih untuk banjir rancangan. Hal ini dikarenakan nilai indeks- ϕ yang dihasilkannya relatif seragam antara kejadian banjir yang satu dengan lainnya dan lebih mendekati kondisi sebenarnya. Besarnya indeks- ϕ untuk DAS Bedog, Code dan Winongo berturut-turut adalah 9,07; 8,37; 8,79 mm/jam

3. Hidrograf Satuan Rerata DAS

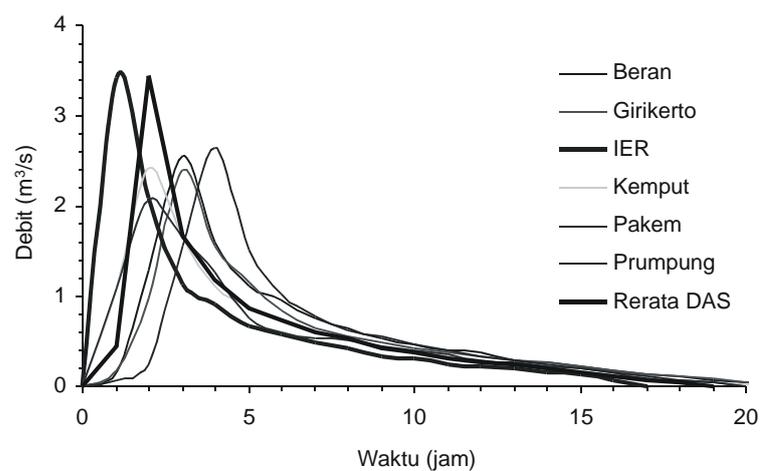
Hidrograf satuan rerata berdasarkan satu stasiun hujan, rerata DAS dan *inverse hydrology* untuk DAS Bedog di Guwosari, DAS Code di Kaloran dan DAS Winongo di Padokan disajikan pada Gambar 4 sampai Gambar 6. Gambar tersebut menunjukkan bahwa secara umum hidrograf satuan yang dihasilkan dengan masukan data hujan yang berbeda baik berdasar satu stasiun hujan,

hujan rerata DAS maupun hujan yang diturunkan dengan metode inverse hydrology mempunyai pola yang mirip.

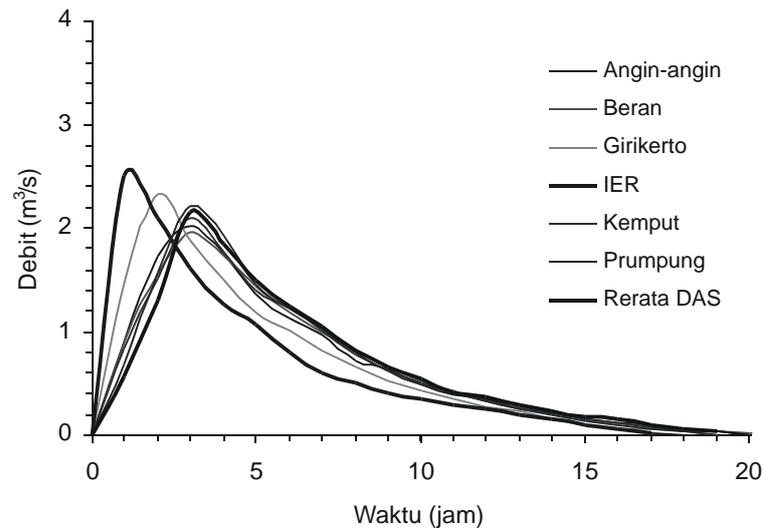
Hidrograf satuan yang dihasilkan berdasarkan satu stasiun hujan relatif sama dengan yang diturunkan berdasarkan hujan rerata DAS. Kesamaan tidak hanya pada bentuk akan tetapi waktu puncak, waktu dasar serta debit puncak pun mempunyai nilai yang tidak jauh berbeda. Debit puncak hidrograf satuan yang diturunkan berdasar hujan satu stasiun terhadap hujan rerata DAS bervariasi untuk DAS yang satu dengan yang lain dan cenderung *underestimated*. Penyimpangan terbesar terjadi di DAS Code, diikuti DAS Bedog dan DAS Winongo dengan rerata prosentase penyimpangan berturut-turut -10%, -26% dan -3%.



Gambar 4. Hidrograf satuan rerata DAS Bedog di Guwosari.



Gambar 5. Hidrograf satuan rerata DAS Code di Kaloran.

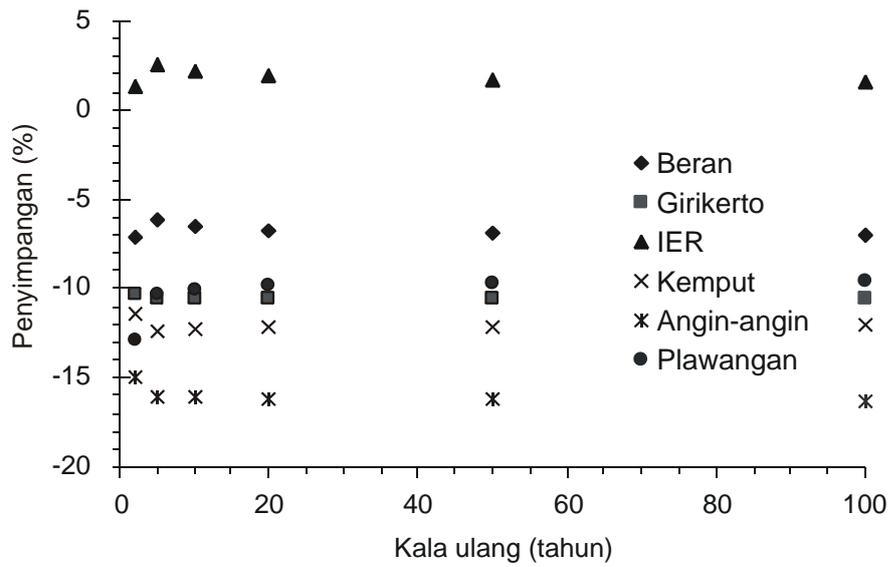


Gambar 6. Hidrograf satuan rerata DAS Winongo di Padokan.

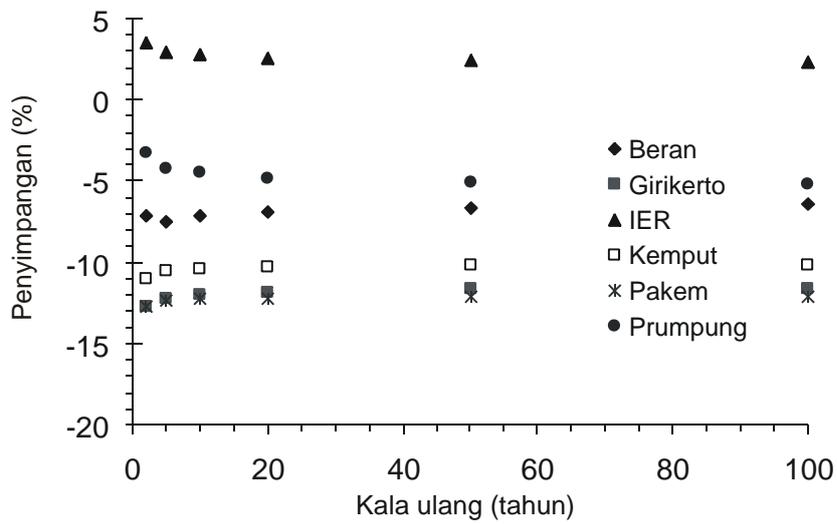
Hidrograf satuan berdasarkan *inverse hydrology* mempunyai penyimpangan debit puncak yang relatif kecil dan kecenderungan overestimated terhadap debit puncak hasil penurunan hidrograf satuan dengan masukan hujan rerata DAS. Besarnya penyimpangan debit puncak hidrograf satuan berturut-turut untuk DAS Bedog, DAS Code dan DAS Winongo adalah 10%, -1% dan 14%. Namun demikian waktu puncak berdasarkan *inverse hydrology* terlalu pendek dibandingkan dengan hidrograf satuan berdasarkan hujan rerata. Hal ini mungkin disebabkan pemilihan bagian hidrograf yang digunakan untuk menurunkan hujan dengan *inverse hydrology*. Untuk itu kajian lebih lanjut aplikasi *inverse hydrology* perlu terus dilakukan, mengingat manfaat yang diperoleh terutama untuk mengatasi kekurangan atau tidak tersedianya data hujan durasi pendek yang diperlukan untuk penerapan hidrograf satuan .

4. Ketelitian Banjir Rancangan

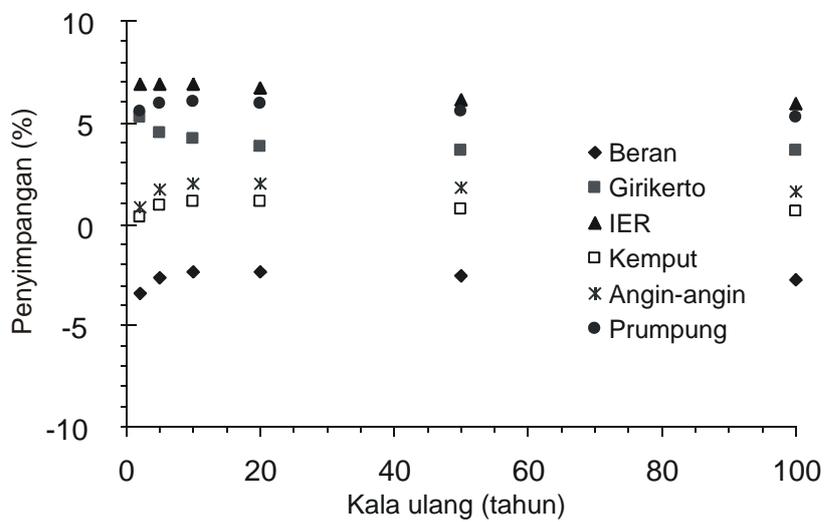
Ketelitian relatif banjir rancangan hasil aplikasi hidrograf satuan berdasarkan satu stasiun hujan dan *inverse hydrology* terhadap banjir rancangan hasil aplikasi hidrograf satuan berdasarkan rerata hujan DAS disajikan pada Gambar 7 sampai Gambar 9. Gambar tersebut menunjukkan bahwa penyimpangan yang terjadi relatif kecil terutama dengan *inverse hydrology* dengan besar penyimpangan 1.4% sampai 7% untuk DAS Bedog, DAS Code maupun DAS Winongo. Penyimpangan relatif kecil juga diperoleh pada aplikasi hidrograf satuan dengan hujan satu stasiun dengan besar penyimpangan rerata sebesar -11% untuk DAS Bedog, -9% untuk DAS Code dan 2% untuk DAS Winongo.



Gambar 7. Penyimpangan banjir rancangan DAS Bedog di Guwosari.

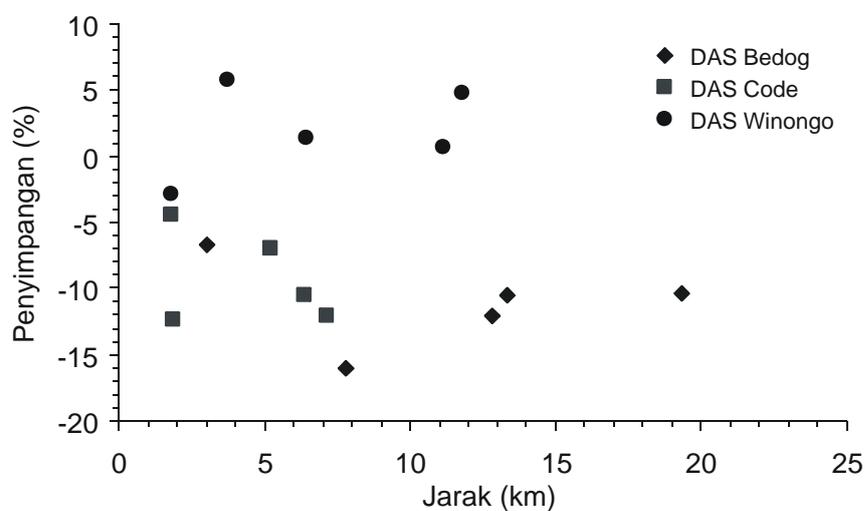


Gambar 8. Penyimpangan banjir rancangan DAS Code di Kaloran.



Gambar 9. Penyimpangan banjir rancangan DAS Winongo di Padokan.

Pengaruh lokasi stasiun hujan yang digunakan untuk menurunkan hidrograf satuan dan ketelitian banjir rancangan relatif terhadap hidrograf banjir rancangan hasil aplikasi hidrograf satuan berdasar hujan rerata DAS dapat dilihat pada Gambar 10. Dari gambar tersebut terlihat bahwa semua stasiun hujan yang digunakan memberikan penyimpangan relatif sama. Namun demikian ada kecenderungan bahwa lokasi stasiun hujan semakin dekat dengan titik berat DAS memberikan penyimpangan yang semakin kecil pula, khususnya untuk DAS Bedog dan Code.



Gambar 10. Pengaruh lokasi stasiun hujan terhadap penyimpangan banjir rancangan (%)

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

- a. Debit puncak hidrograf satuan berdasarkan satu stasiun hujan berkisar 1 hingga 30 % dan cenderung *underestimated* sedangkan hidrograf satuan yang dihasilkan berdasarkan hujan efektif hasil analisis dengan *inverse hydrology* cenderung *overestimated* hingga 10% terhadap hidrograf satuan yang dihasilkan berdasarkan hujan rerata DAS.
- b. Permasalahan dalam hidrograf satuan akan kelangkaan data hujan otomatis dapat diatasi dengan menggunakan minimal satu stasiun hujan yang ada atau menggunakan pendekatan *inverse hydrology* untuk menurunkan hujan penyebab banjir dari kasus banjir yang ditinjau.

- c. Penyimpangan relatif banjir rancangan berdasarkan satu stasiun hujan terhadap hujan rerata DAS relatif kecil berkisar 1 hingga 17% (*underestimated*), sedangkan dengan *inverse hidrology* cenderung *overestimated* hingga 7%.
 - d. ada kecenderungan bahwa lokasi stasiun hujan semakin dekat dengan titik berat DAS memberikan penyimpangan banjir rancangan yang semakin kecil.
2. Saran
- a. Untuk memperoleh hasil yang lebih baik, perlu kajian penurunan hidrograf satuan dengan lebih banyak kasus banjir, dan kalau dimungkinkan dengan durasi hujan yang lebih pendek misal 15 atau 30 menitan.
 - b. Penurunan hujan efektif dengan *inverse hydrology* perlu kajian lebih lanjut terutama pemilihan titik awal dari bagian resesi suatu hidrograf.

DAFTAR PUSTAKA

- Chow, V.T., Maidment, M.R., and Mays, L.W., 1988, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York.
- Barfield, B.J., Warner, C., dan Haan, C.T., 1983, *Applied Hydrology and Sedimentology of Distributed Lands*, Oklahoma Technical Press, Oklahoma.
- Edy Sukoso, 2004, Perbandingan Tingkat Ketelitian Pemakaian Persamaan Hujan Jam-jaman dan Agihan Jam-jaman Terukur Terhadap Hidrograf Debit Rancangan, *Tesis*, Magister pengelolaan bencana Alam (MPBA), Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Hino, M., 1986, Improvement in the Inverse Estimation Method of Effective Rainfall from Run-off, *Journal of Hidrology*, 83:137-147.
- Hino, M., and Hasebe, M., 1984, Identification and Prediction of Nonlinier Hydrologic systems by the Filter-separation Autoregressive (AR) Method: Extension to Hourly Hydrologic Data, *Journal of Hidrology*, 68:182-210.
- Hino, M., dan Hasebe, M., 1981, Analysis of Hydrologic Characteristics from Runoff Data – a Hydrologic Inversely Problem, *Journal of Hydrology*, 49:287 – 313
- Koutsoyiannis, D., 1994, A stochastic disaggregation method for design storm and flood synthesis, *Journal of Hydrology*, 156: 193-225.
- Pilgrim, D.H., et.al (eds), 1987, *Australian Rainfall-Runoff*, The Institution of Engineers, Australia
- Sujono, J., 1998, Penurunan Hidrograf Satuan dengan Data Hujan Harian, *Media Teknik*, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Sujono, J., 2003, Parameter Identification and Regionalization of Unit Hydrograph and Storage Function Model in Tropical River Basin, *Thesis*, Departement of Bioproduction Enviromental Science Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University, Fukuoka, Japan.

Yue, S. dan Hashino, M., 2000, unit hydrographs to model quick and slow runoff components of stream flow, *Journal of Hydrology*, 227: 195-206.