

SIMULASI PENGARUH TATA GUNA LAHAN TERHADAP DEBIT BANJIR DI DAS KEDUANG

Ratih Baniva⁽¹⁾, Sobriyah⁽²⁾, Susilowati⁽²⁾

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

²⁾ Pengajar Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524. Email: baniva_9@yahoo.com

Abstract

Keduang watershed suffered a critical condition which indicated by the frequent occurrence of flooding land and it's covered by the perennials left less than 10% in the fields this leads to reduce water infiltration. The purpose of it these studies are (1) Getting the calibration coefficient (C) on discharge and the volume calculated, (2) Getting the discharge ratio and volume resulting from the measurement and simulation of land-use change, (3) Obtain appropriate land use to reduce Keduang watershed flood discharge. Stages of research conducted with data collection topographic maps, the last land used, Automatic Water Level Recorder (AWLR), Automatic Rainfall Recorder (ARR). Then analyzed the data by looking for pairs of AWLR (measured) and ARR at the same time. Discharge measured results of using formulas AWLR rating curve and calculate the discharge used to time area method. Calibration coefficient (C) has measured and calculated the error rate was set at 10-20%. Simulation is then performed to obtain flood discharge. The flood discharge calculation results with three alternative land use compared with the measured results. Peak discharge values and the lowest water volume can be selected as the appropriate land use in order to reduce flood discharge Keduang watershed. The results showed that the flow coefficient (C) on each isochrone is at 1, C = 0,60, isochrone 2, C = 0,53, isochrone 3, C = 0,66, isochrone 4, C = 0,51, isochrone 5, C = 0,42, isochrone 6, C = 0,40 and simulation 3 is considered more appropriate to use in order to reduce flooding in the Keduang watershed because it has the highest reduction percentage.

Keywords: Keduang Watershed, Flood, Simulation of Land Use.

Abstrak

DAS Keduang mengalami kondisi kritis yang ditunjukkan dengan sering terjadinya banjir karena adanya tutupan lahan berupa tanaman keras hanya tersisa kurang dari 10% selebihnya menjadi ladang hal ini menyebabkan berkurangnya resapan air. Tujuan dari penelitian ini adalah (1) mendapatkan hasil kalibrasi koefisien C pada debit dan volume terhitung, (2) mendapatkan hasil perbandingan debit dan volume yang dihasilkan dari pengukuran dan simulasi perubahan tata guna lahan, (3) mendapatkan tata guna lahan yang tepat guna mengurangi debit banjir DAS Keduang. Tahapan penelitian yang dilaksanakan dengan pengumpulan data peta topografi, peta tata guna lahan terakhir, Automatic Water Level Recorder (AWLR), Automatic Rainfall Recorder (ARR). Selanjutnya dilakukan analisis data dengan mencari pasangan data AWLR dan ARR pada waktu yang sama. Hasil debit terukur dari data AWLR menggunakan rumus rating curve dan untuk menghitung debit digunakan metode time area. Kalibrasi koefisien (C) terukur dan terhitung mempunyai tingkat kesalahan yang ditetapkan sebesar 10-20%. Selanjutnya dilakukan simulasi untuk mendapatkan debit banjir. Hasil perhitungan debit banjir tersebut dengan tiga alternatif tata guna lahan dibandingkan dengan hasil terukur. Nilai debit puncak dan volume air terendah dapat dipilih sebagai tata guna lahan yang tepat guna mengurangi debit banjir DAS Keduang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai koefisien aliran (C) pada tiap-tiap isochrone yaitu pada isochrone 1, C = 0,60, isochrone 2, C = 0,53, isochrone 3, C = 0,66, isochrone 4, C = 0,51, isochrone 5 = 0,42, isochrone 6 = 0,40 dan simulasi 3 dianggap lebih tepat digunakan guna mengurangi banjir di DAS Keduang karena mempunyai persentase penurunan tertinggi.

Kata Kunci: DAS Keduang, Banjir, Simulasi Tata Guna Lahan

PENDAHULUAN

Perubahan alih fungsi lahan terbuka menjadi lahan terbangun akan berpengaruh terhadap aliran permukaan. Perubahan lahan terbuka menjadi lahan terbangun mengakibatkan air hujan sulit untuk meresap kedalam tanah dan menjadi aliran permukaan sehingga berpotensi untuk terjadi banjir. Daerah Aliran Sungai Keduang merupakan bagian hulu DAS Bengawan Solo. Luas DAS Keduang adalah 420,89 km² terletak di 9 Kecamatan yang meliputi 83 desa/kelurahan.

Saat ini DAS Keduang dalam kondisi kritis yang ditunjukkan dengan sering terjadinya banjir karena adanya tutupan lahan berupa tanaman keras di DAS Keduang hanya tersisa kurang dari 10% selebihnya menjadi ladang. Hal ini mengakibatkan DAS Keduang tersebut setiap tahunnya menjadi penyumbang sedimentasi di WS Bengawan Solo, dan mengakibatkan pendangkalan waduk Wonogiri (Alwin Darmawan, 2009). Data *The Network of River Asian Basin* (Direktorat Jenderal Penataan Ruang, 2008) menyebutkan setiap tahun DAS Keduang menyumbang sedimentasi terbesar sehingga menyebabkan pendangkalan waduk. Dengan semakin dangkalnya waduk dikhawatirkan tidak akan sanggup lagi menampung air penyebab banjir terutama bagi daerah hilir Sungai Bengawan Solo.

Salah satu usaha untuk mengurangi debit banjir di DAS Keduang adalah adanya perubahan tata guna lahan, sehingga perlu diadakan simulasi perubahan tata guna lahan terhadap debit banjir. Hasil simulasi diharapkan dapat memberi tata guna lahan yang tepat dan mengurangi debit banjir di DAS Keduang. Dalam membatasi ruang lingkup, penelitian terbatas pada perhitungan debit puncak banjir dan volume aliran.

Tujuan Penelitian ini adalah mendapatkan hasil kalibrasi koefisien C pada debit dan volume terhitung, mendapatkan hasil perbandingan debit dan volume yang dihasilkan dari pengukuran dan simulasi perubahan tata guna lahan, dan mendapatkan tata guna lahan yang tepat guna mengurangi debit banjir DAS Keduang.

TINJAUAN PUSTAKA

Perubahan tata guna lahan daerah aliran sungai (DAS) memberikan pengaruh cukup dominan terhadap debit banjir (Jayadi 2000).

Rohmiyati (2008) menyatakan bahwa kejadian banjir tanggal 26 Desember 2007 yang melanda di wilayah DAS Keduang telah mengakibatkan kerusakan pada Jembatan Keduang (Nomor ruas:24.109.006.0) yang terletak di ruas Jalan Ngadirojo-Giriwoyo-Pacitan.

Dalam pengendalian banjir memerlukan informasi mengenai karakter banjir yang menyangkut besarnya debit banjir serta tinggi muka air banjir. Karena keterbatasan data pengamatan tinggi muka air maka dibuat model hujan-aliran sederhana, yaitu model Rasional. Pengembangan model Rasional untuk DAS sedang (Viessman, 1977, Ponce, 1989, Wanieliesta, 1990) yaitu metode time-area dilakukan dengan membagi DAS menjadi sub DAS – sub DAS dengan garis *isochrone* yang melintang sungai.

Metode Rasional

Merupakan rumus empirik sederhana yang masih banyak digunakan saat ini untuk menghitung debit puncak banjir (Q_p). Menurut Ponce (1989) dalam perhitungannya metode ini telah memasukkan karakteristik hidrologi dan proses aliran yaitu: (1) intensitas hujan, (2) durasi hujan, (3) luas DAS, (4) Kehilangan air akibat evaporasi, intersepsi, infiltrasi dan (5) konsentrasi aliran. Rumus Rasional dapat dilihat pada persamaan [1].

$$Q_p = 0,278.C.I.A \dots\dots\dots [1]$$

keterangan:

- Q_p = laju aliran permukaan debit puncak ($m^3/detik$),
- I = intensitas hujan (mm/jam),
- A = luas DAS (km^2),
- C = koefisien aliran permukaan ($0 \leq C \leq 1$).

Koefisien aliran (C) merupakan nilai tetap yang merupakan perbandingan antara hujan efektif dan hujan yang jatuh. Nilai ini merupakan perwujudan dari kehilangan air akibat evaporasi, evapotranspirasi, intersepsi dan infiltrasi. Nilai C biasanya diambil untuk tanah jenuh pada waktu permulaan hujannya (Iman Subarkah, 1978) dengan nilai berkisar antara 0-1 yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Koefisien Aliran (C)

Tata Guna Lahan	Loam Berpasir	Loam Siltloam	Lempung padat
Hutan			
Kemiringan 0-5%	0,10	0,30	0,40
5-10%	0,25	0,35	0,50
10-30%	0,30	0,50	0,60
Padang rumput			
Kemiringan 0-5%	0,10	0,30	0,40
5-10%	0,15	0,35	0,55
10-30%	0,20	0,40	0,60
Tanah pertanian			
Kemiringan 0-5%	0,30	0,50	0,60
5-10%	0,40	0,60	0,70
10-30%	0,50	0,70	0,80
Perumahan			
Daerah <i>single family</i>			0,30-0,50
<i>Multi units</i> (pisah)			0,40-0,60
<i>Multi units</i> , tertutup			0,60-0,75
Suburban			0,25-0,40
Daerah rumah apartemen			0,60-0,70
Industri			
Daerah kurang padat			0,50-0,80
Daerah padat			0,60-0,90
Daerah kota lama			0,75-0,95
<i>Business</i>			
Daerah pinggir			0,50-0,70

sumber : Iman Subarkah, 1978.

Tabel 1 menggambarkan nilai C untuk penggunaan lahan yang seragam, di mana kondisi ini sangat jarang dijumpai untuk lahan yang relative luas. Jika DAS terdiri dari berbagai macam penggunaan lahan dengan koefisien aliran permukaan yang berbeda, maka nilai C DAS dapat dihitung dengan persamaan [2].

$$Y = \frac{C_1A_1+C_2A_2+C_3A_3+\dots+C_nA_n}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots\dots\dots [2]$$

keterangan:

- A = luas lahan dengan jenis penutup tanah,
- C = koefisien aliran permukaan jenis penutup tanah,
- n = koefisien aliran permukaan jenis penutup tanah.

Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi (tc) suatu DAS adalah waktu yang diperlukan oleh air hujan yang jatuh untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke tempat keluaran DAS (titik kontrol) setelah tanah menjadi jenuh dan depresi-depresi kecil terpenuhi. Dalam hal ini diasumsikan bahwa jika durasi hujan sama dengan waktu konsentrasi, maka setiap bagian DAS secara serentak telah menyumbangkan aliran terhadap titik kontrol. Salah satu metode untuk memperkirakan waktu konsentrasi adalah rumus yang dikembangkan oleh (Kirpich, 1940) yang dapat dilihat pada persamaan [3].

$$t_c = \left(\frac{0.87L^2}{1000S} \right)^{0.385} \dots\dots\dots [3]$$

keterangan:

- t_c = waktu konsentrasi (jam)
- L = panjang saluran utama dari hulu sampai penguras (km)
- S = kemiringan rata-rata saluran

Metode Time Area

Metode *time-area* merupakan pengembangan metode Rasional yang tetap berprinsip pada konsentrasi aliran, tetapi dapat digunakan untuk hujan yang kompleks, yang dapat diterapkan pada DAS sedang. Daerah Aliran Sungai dibagi menjadi sub DAS – sub DAS oleh *isochrone* yang mempunyai waktu perjalanan air (*travel time*) yang sama (Sobriyah, 2012). Setiap subDAS diukur luasnya dan digambarkan sebagai histogram. Besarnya *travel time* yang digunakan disamakan dengan interval waktu *hyetograph* hujannya. Proses hujan aliran dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Proses Hujan-aliran dari tiap *isochrone*

t	Hujan ke			Jumlah
	1	2	3	
0	0			0
1	Q1.1	0		Q1.1
2	Q1.2	Q1.1	0	Q1.2+Q2.1
3	Q1.3	Q1.2	Q1.1	Q1.3+Q2.2+Q3.1
4	Q1.4	Q1.3	Q1.2	Q1.4+Q2.3+Q3.2
5	0	Q1.4	Q1.3	Q2.4+Q3.3
6		0	Q1.4	Q1.1
7			0	0

Keterangan : q_{i,j} notai i = hujan ke i, j = *isochrone* ke j.

Kalibrasi Koefisien (C)

Suatu proses kalibrasi yang menghasilkan keluaran simulasi yang persis sama dengan catatan hasil terukur tentunya tidak mungkin akan tercapai. Permasalahan yang biasa timbul dalam proses kalibrasi adalah tingkat kesesuaian antara terhitung dengan hasil terukur. Sofyan dkk. (1995) menetapkan bahwa kesalahan hidrograf banjir hasil simulasi sebesar 10-20% masih dapat diterima. Tingkat kesesuaian yang perlu dilihat pada hitungan yang berorientasi pada banjir adalah untuk menghitung beda debit puncak antara terukur dan terhitung yang dapat dilihat pada persamaan [4] dan untuk menghitung beda volume air antara terukur dan terhitung dapat dilihat pada persamaan [5].

$$\Delta Qp = \left(\frac{Q_{pu} - Q_{ph}}{Q_{pu}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots [4]$$

keterangan:

ΔQ_p = beda debit puncak antara ukur dan hitungan,

Q_{pu} = debit puncak terukur,

Q_{ph} = debit puncak terhitung.

$$\Delta V = \left(\frac{V_u - V_h}{V_u} \right) \times 100\% \dots\dots\dots [5]$$

keterangan:

ΔV = beda volume aliran antara ukur dan hitungan,

V_u = voume air terukur,

V_h = volume air terhitung.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Deskriptif Kuantitatif. Metode ini berupa pengumpulan data, analisis data, dan interpretasi hasil analisis untuk mendapatkan informasi guna pengambilan keputusan dan kesimpulan. Lokasi penelitian di DAS Keduang. Data yang dibutuhkan berupa peta topografi, peta tata guna lahan, *Automatic Water Level Recorder* (AWLR), dan *Automatic Rainfall Recorder* (ARR).

Penelitian ini diawali dengan mencari pasangan data AWLR (terukur) dan ARR pada waktu yang sama. Menganalisis peta DAS Keduang sehingga diketahui luasannya. Untuk membuat *isochrone* diperlukan kemiringan rata-rata sungai dan panjang saluran utama dari hulu sampai penguras dengan menggunakan persamaan [3] maka akan didapat nilai t_c . Daerah Aliran Sungai Keduang dibagi menjadi *isochrone-isochrone* sesuai nilai t_c tersebut kemudian untuk menghitung debit terukur dari data AWLR digunakan rumus *rating curve* tahun 1996 dan untuk menghitung debit terhitung digunakan metode *time area*. Selanjutnya untuk penetapan koefisien aliran C pada tiap *isochrone* disesuaikan pada data tata guna lahan. Kalibrasi koefisien (C) mempunyai tingkat kesalahan yang ditetapkan sebesar 10-20%. Simulasi tata guna lahan dilakukan dengan tiga alternatif tata guna lahan.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil perhitungan untuk kedua pasangan hujan yaitu pasangan pertama pada tanggal 14-15 Februari 2011 dan pasangan kedua pada tanggal 14-15 Desember 2011, nilai t_c untuk DAS Keduang yaitu 5,87 jam maka dibulatkan menjadi 6 jam sehingga DAS Keduang dibagi menjadi 6 bagian *isochrone*. Pada setiap *isochrone* dihitung nilai $C_{komposit}$. Hasil perhitungan koefisien C dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Kalibrasi Perhitungan Koefisien Aliran (C) Pada Tiap *Isochrone*

<i>Isochrone</i>	Luas (km ²)	Koefisien C
1	26,04	0,60
2	33,91	0,53
3	55,70	0,66
4	89,43	0,51
5	101,55	0,42
6	114,36	0,40

Setelah itu dengan menggunakan pasangan data hidrograf terukur dan data hujan pada waktu yang sama, penelitian ini dilakukan berdasarkan debit jam-jaman terukur di AWLR Ngadipiro dan data hujan jam-jaman terhitung di Stasiun Jatirono yang berada di DAS Keduang. Dengan menggunakan koefisien pengaliran seperti pada Tabel 3 maka dengan menggunakan metode *time area* dapat dilihat pada Tabel 4 untuk pasangan hujan pertama dan Tabel 5 untuk pasangan hujan kedua.

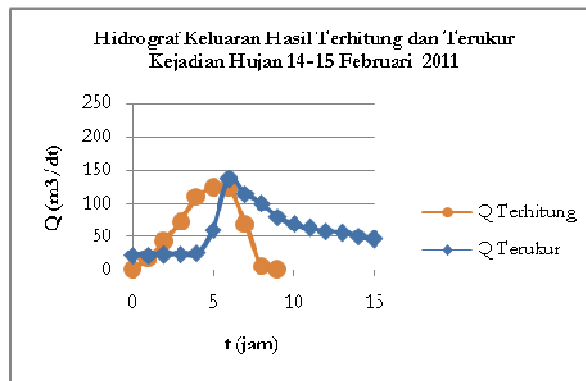
Tabel 3. Analisa Time Area Kejadian Pasangan Hujan 14-15 Februari 2011

t	Hujan ke		Jumlah
	1	2	3
	4,50	5,00	0,50
0	0,00		0,00
1	19,65	0,00	19,65

Tabel 3. Analisa Time Area Kejadian Pasangan Hujan 14-15 Februari 2011 (Lanjutan)

t	Hujan ke			Jumlah
	1	2	3	
	4,50	5,00	0,50	
2	22,52	21,84	0,00	44,36
3	45,99	25,03	2,18	73,20
4	57,62	51,10	2,50	111,22
5	53,57	64,02	5,11	122,69
6	57,50	59,52	6,40	123,42
7	0,00	63,89	5,95	69,84
8		0,00	6,39	6,39
9			0,00	0,00
		Debit Maksimum		123,42

Hasil Hidrograf keluaran hasil terhitung dan terukur pada kejadian pertama dapat dilihat pada Gambar 1.

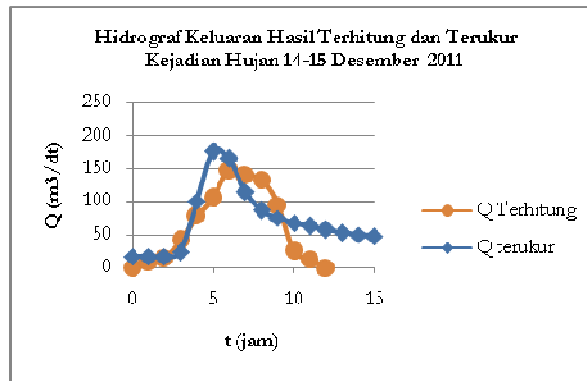


Gambar 1. Hidrograf Keluaran Tanggal 14-15 Februari 2011

Tabel 4. Analisa Time Area Kejadian Pasangan Hujan 14-15 Desember 2011

t	Hujan ke						Jumlah
	1	2	3	4	5	6	
	2,00	1,00	3,50	5,50	1,00	1,00	
0	0,00						0,00
1	8,73	0,00					8,73
2	10,01	4,37	0,00				14,38
3	20,44	5,01	15,29	0,00			40,73
4	25,61	10,22	17,52	24,02	0,00		77,37
5	23,81	12,80	35,77	27,53	4,37	0,00	104,28
6	25,56	11,90	44,81	56,21	5,01	4,37	147,86
7	0,00	12,78	41,66	70,42	10,22	5,01	140,09
8		0,00	44,72	65,47	12,80	10,22	133,21
9			0,00	70,28	11,90	12,80	94,98
10				0,00	12,78	11,90	24,68
11					0,00	12,78	12,78
12						0,00	0,00
						Debit Maksimum	147,86

Hasil Hidrograf keluaran hasil terhitung dan terukur pada kejadian kedua dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hidrograf Keluaran Tanggal 14-15 Desember 2011

Hasil Kalibrasi selisih antara volume, debit puncak dan waktu puncak, seperti terlihat pada Tabel 5 dan 6: Tabel 5. Selisih Volume, Debit puncak dan Waktu Puncak Pada Hidrograf Pasangan Hujan Tanggal 14-15 Februari 2011

	Volume (m ³)	Debit puncak (m ³ /s)	Waktu Puncak (Jam)
Terukur	19523394,00	136,83	6
Terhitung	18492948,00	123,42	6
(%) Selisih	5,28	9,80	0,00

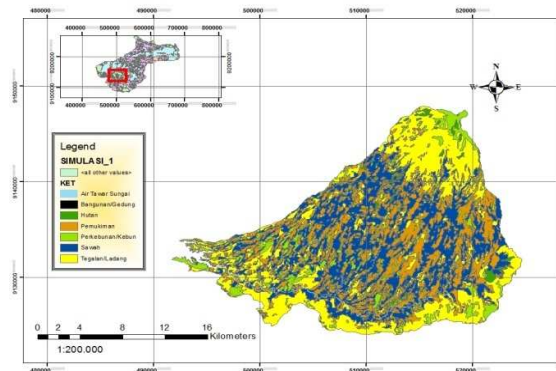
Tabel 6. Selisih Volume, Debit puncak dan Waktu Puncak Pada Hidrograf Pasangan Hujan Tanggal 14-15 Desember 2011

	Volume (m ³)	Debit puncak (m ³ /s)	Waktu Puncak (Jam)
Terukur	38870682,48	175,98	5
Terhitung	34520688,00	147,86	6
(%) Selisih	11,19	15,98	20,00

Dilihat dari Tabel 5 dan 6 nilai koefisien (C) pada tiap-tiap *isochrone* yaitu pada Tabel 3 dapat diterima karena selisih volume, debit puncak, dan waktu puncak pada kedua pasangan kurang dari 20%. Menurut Sofyan dkk. (1995) kesalahan hidrograf banjir sebesar 10-20% masih dapat diterima.

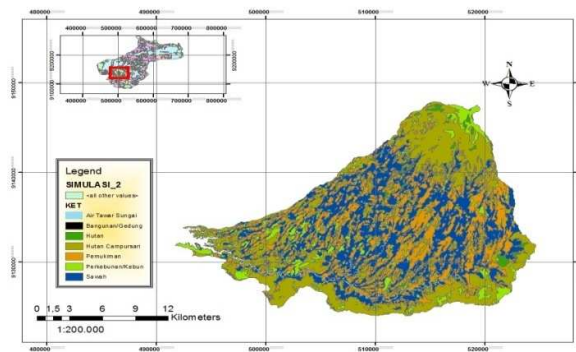
Simulasi Tata Guna Lahan

Simulasi tata guna lahan dilakukan untuk mengetahui hubungan antara perubahan tata guna lahan dan respon DAS Keduang guna mengurangi banjir. Oleh karena itu, dilakukan simulasi dengan beberapa alternatif perencanaan perubahan penggunaan lahan. Simulasi 1 : mengubah penutupan lahan yang berupa semak belukar, padang rumput, sawah tadah hujan dan bukit batuan menjadi hutan alam produksi dengan sistem tebang pilih yang dapat dilihat pada Gambar 3.



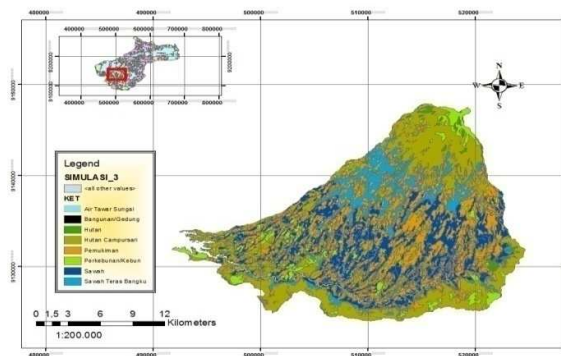
Gambar 3. Landuse Simulasi 1

Simulasi 2 : mengubah penutupan lahan yang berupa tegalan menjadi hutan campursari ditambah dengan alternatif simulasi 1. Landuse simulasi 2 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Landuse Simulasi 2

Simulasi 3 : mengubah penutupan lahan yang berupa sawah yang terjal dengan kemiringan 10-30% dibuat teras bangku sedangkan sawah dengan kemiringan lainnya dianggap tetap ditambah dengan alternatif simlasi 1 dan 2. Landuse simulasi 3 dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Landuse Simulasi 3

Nilai koefisien C setiap perubahan tata guna lahan dihitung kembali berdasarkan nilai C hasil kalibrasi. Dalam proses simulasi yang dilakukan dengan menggunakan nilai parameter yang sama maka dihitung debit dan volume dengan menggunakan metode time area. Nilai hasil pembanding volume dan debit yang dihasilkan dari pengukuran dan simulasi tata guna lahan dapat dilihat pada Tabel 7 dan 8:

Tabel 7. Nilai Volume Limpasan Dan Debit Puncak 14-15 Februari 2011 Pada terukur dan Simulasi 1,2,3.

	Volume Aliran (m ³)	(%) Selisih	Debit Puncak (m ³ /s)	(%) Selisih
Terukur	19523394,00		136,83	
Simulasi 1	18479664,00	5,35	122,87	10,20
Simulasi 2	17153208,00	12,14	116,67	14,73
Simulasi 3	16791300,00	13,99	114,96	15,98

Tabel 8. Nilai Volume Limpasan dan Debit Puncak 14-15 Desember 2011 Pada terukur dan Simulasi 1,2,3.

	Volume Aliran (m ³)	(%) Selisih	Debit Puncak (m ³ /s)	(%) Selisih
Terukur	38870682,48		175,98	
Simulasi 1	34495632,00	11,26	147,88	15,97
Simulasi 2	32019408,00	17,63	139,42	20,77
Simulasi 3	31343328,00	19,37	136,21	22,60

Hasil simulasi pada kedua pasangan kejadian hujan menunjukkan simulasi 3 memiliki persentase penurunan terbesar sehingga memiliki volume aliran terendah dengan debit puncak terendah. Dengan demikian tata guna lahan pada simulasi ketiga dianggap lebih tepat digunakan guna mengurangi debit banjir di DAS Keduang.

SIMPULAN

Dari penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: Nilai koefisien aliran (C) pada tiap-tiap *isochrone* setelah dikalibrasi yaitu pada *isochrone* 1, C = 0,60, *isochrone* 2, C = 0,53, *isochrone* 3, C = 0,66, *isochrone* 4, C = 0,51, *isochrone* 5, C = 0,42, *isochrone* 6, C = 0,40. Penurunan volume dan debit puncak pada kedua kejadian hujan menunjukkan simulasi 3 mengalami prosentase penurunan terbesar, sehingga simulasi 3 dianggap lebih tepat digunakan untuk mengurangi banjir di DAS Keduang.

UCAPAN TERIMAKASIH

Saya ucapkan terimakasih kepada ibu Sobriyah dan ibu Susilowati yang senantiasa membimbing saya hingga terselesainya penelitian ini.

REFERENSI

- Alwin Darmawan, 2009, *Evaluasi Penggunaan Laban Berdasarkan Konsep Fasies Gunung Api Untuk Menunjang Peraturan Zonasi Dalam Tata Ruang*. Buletin Geologi Tata Lingkungan, vol 19.
- Direktorat Jenderal Penataan Ruang, 2008. *Penyusunan Rencana Rehabilitasi Tata Guna Laban Sub DAS Keduang*, DAS Bengawan Solo Hulu, Departemen Pekerjaan Umum.
- Iman Subarkah, 1978. *Hidrologi Untuk Perencanaan Bangunan Air*, Idea Dharma, Bandung.
- Jayadi, R (2000). "Hidrologi I (Pengenalan Hidrologi)", *Diktat Kuliah*, Jurusan Teknik Sipil, FT-UGM, Yogyakarta.
- Kirpich, Z. P. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Engineering* 10 (6), 362. The original source for the Kirpich equation. (In PDF).
- Ponce V.M., 1989. *Engineering Hydrology Principles and Practices*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Robmiyati, A, 2008., "Pengendalian Gerusan Lokal dengan Groundsill pada Pilar Jembatan". Skripsi Teknik Sipil UNS, Surakarta.
- Sobriyah, 2012. *Model Hidrologi*, UNS-Press, Surakarta.
- Sofyan Dt., Moh Arief I dan Rustam Effendy, 1995. Pengaruh Perubahan Karakteristik Basin Terhadap Hidrograf Banjir, *Seminar Fenomena Perubahan Watak Banjir*, Jurusan Teknik Sipil, FT UGM, Yogyakarta.
- Viessman W., Knap J.W., and Harbaugh T.E., 1977, *Introduction to Hidrology*, Harper & Row Publishers, New York.
- Wanielista, M.P., 1990. *Hydrology and Water Quantity Control*, John Wiley an Sons, New York.