

Studi pengaruh perubahan tataguna lahan terhadap karakteristik banjir Kota Bima

Goyu Ismoyojati¹, Joko Sujono², Rachmad Jayadi²

¹ Magister Teknik Pengelolaan Bencana Alam, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

² Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Email: goyuismoyojati@gmail.com

Abstrak. Curah hujan yang tinggi pada tanggal 21 Desember 2016 menyebabkan banjir besar di Kota Bima. Banjir tersebut mengakibatkan rusaknya infrastruktur dan menimbulkan kerugian yang cukup besar. Hujan ekstrim, kondisi daerah aliran sungai (DAS) pada bagian hulu yang mengalami pengurangan luas kawasan hutan dan meningkatnya perkembangan Kota Bima diduga sebagai faktor penyebab utama terjadinya banjir besar tersebut. Perubahan penggunaan lahan yang signifikan berdampak pada perubahan respon DAS terhadap hujan yang terjadi. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh dari perubahan penggunaan lahan terhadap karakteristik banjir yang terjadi berbasis model hidrologi alihragam hujan-aliran pada DAS Rontu di Kota Bima. Pada penelitian ini pengaruh perubahan penggunaan lahan dianalisis dengan cara menentukan nilai curve number (CN) DAS tahun 1996, 2006 dan 2016. CN dihitung menggunakan bantuan perangkat lunak HEC-GeoHMS 10.3. Selanjutnya nilai CN digunakan untuk hitungan hujan efektif sebagai masukan hitungan simulasi hidrograf banjir dengan model alihragam hujan-aliran metode hidrograf satuan sintetik Nakayasu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyebab banjir selain curah hujan yang sangat lebat atau ekstrim juga dipengaruhi perubahan penggunaan lahan. Pada DAS Rontu selama dua puluh tahun (1996 sampai 2016) terjadi perubahan komposisi penggunaan lahan yaitu pengurangan luas kawasan hutan 28,68%, peningkatan pemukiman 3,10%, peningkatan ladang tegalan 26,83%, peningkatan tanah terbuka 5,82%, peningkatan sawah 3,62%. Akibat perubahan ini pada kondisi basah di sub-DAS Padolo mengalami peningkatan nilai CN 4,55%, debit puncak 10,26% dan volume limpasan 9,82%; pada sub-DAS Malayu mengalami peningkatan nilai CN 6,78%, debit puncak 17,29% dan volume limpasan 18,00%.

Kata kunci: Respon DAS, Curve Number, debit puncak, volume limpasan.

Abstract. The high intensity rainfall in December 21st 2016 has caused major flooding in Bima City. It caused infrastructure destructs and considerable losses. The condition of the watershed in the upstream experiencing decrease of forest area and the growth of the city were suspected as some of the factors causing the big flood. Significant land-use changing brought impact on the changes of watershed response to rainfall. The purpose of this research was to determine the effect of land use changing on the flood occurrence based on the hydrological model of rainfall-flow in Rontu watershed in the City of Bima. In this research, the effect of land use changing was analyzed by determining the value of curve number (CN) of the watershed in 1996, 2006 and 2016. CN was calculated with the help of HEC-GeoHMS 10.3 software. Furthermore, CN value was used in effective rainfall calculation as the input of hydrograph flood simulation by using the Nakayasu synthetic unit hydrograph transform model. The result showed that other than extreme rainfall, the

flood was also affected by the land use changing. In Rontu watershed, over the past twenty years (1996 to 2016), land use changing composition occurred i.e. 28,68% forest decrease, 3,10% settlement increase, 26,83% farm field increase, 5,82% shrubs decrease and 3,62% rice field increase. Such changing in wet conditions in Padolo sub-watershed resulted in increasing CN of 4,55%, peak discharge of 10,26% and runoff volume of 9,82% and in Malayu sub-watershed resulted in increasing CN of 6,78%, peak discharge of 17,29% and runoff volume 18,00%..

Keywords: Watershed response, CN, peak discharge, runoff volume.

1. Pendahuluan

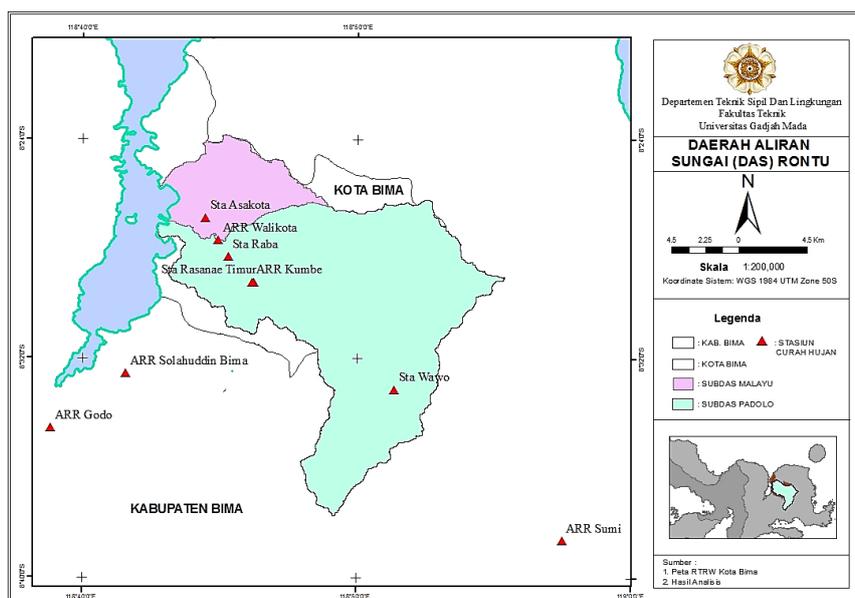
Kota Bima dilanda banjir pada tanggal 21 dan 23 Desember 2016 dikarenakan terjadinya hujan ekstrim yang dipicu oleh badai siklon *Yvette* di Samudera Hindia. Selain curah hujan ekstrim, pembukaan area hutan untuk kegiatan budidaya lahan lain, kondisi topografi dan perkembangan Kota Bima diduga sebagai faktor penyebab kejadian banjir besar tersebut. Perubahan tata guna lahan merupakan salah satu faktor penyebab terjadinya banjir pada suatu DAS (Halim, 2014; Aurdin, 2014; Marko & Zulkarnain, 2018). Curah hujan yang tinggi yang terjadi di wilayah Kota Bima pada Desember 2016 menyebabkan meluapnya sungai Padolo dan sungai Malayu. Permukiman yang padat penduduknya berlokasi pada daerah yang topografinya rendah dan perkembangan daerah pemukiman yang sebelumnya merupakan daerah resapan air, menyebabkan dampak banjir yang terjadi semakin parah.

Penelitian ini menyajikan sejauh mana perubahan tata guna lahan dan pengaruhnya terhadap karakteristik banjir di Kota Bima berbasis kejadian banjir tanggal 21 dan 23 Desember 2016, sehingga dapat diperoleh informasi yang bermanfaat untuk melakukan evaluasi dan kajian untuk upaya pengelolaan DAS dan pengendalian banjir Kota Bima di masa yang akan datang.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Secara administratif lokasi penelitian ini terletak di Kota Bima di bagian timur Pulau Sumbawa Provinsi Nusa Tenggara Barat dengan luas wilayah 222,25 km². Secara geografis Kota Bima terletak pada posisi 118°41' – 118°48' Bujur Timur dan 8°30' – 8°20' Lintang Selatan. Kota Bima secara administrasi terdiri dari 5 Kecamatan dengan 38 kelurahan. Lokasi penelitian ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian.

2.2. Ketersediaan Data

2.2.1. Data Hujan

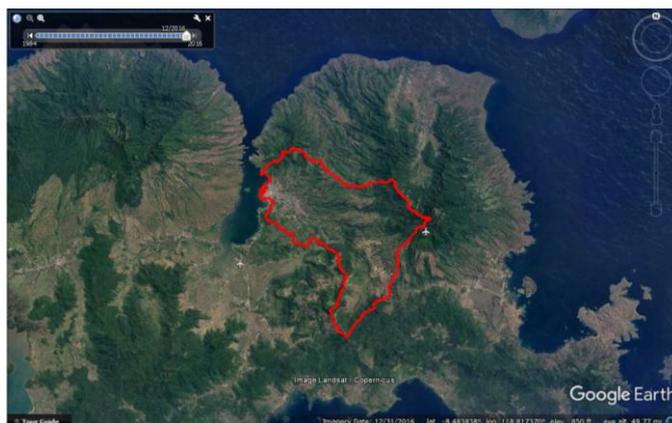
Data hujan kawasan DAS dihasilkan dari rata-rata hujan pada saat kejadian banjir pada tanggal 21 Desember 2016 dan 23 Desember 2016 yang tercatat pada tujuh stasiun hujan yang bersumber dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Sultan Muhammad Salahudin Bima. Lokasi stasiun pengukuran curah hujan dapat dilihat pada Gambar 1. Data curah hujan pada saat kejadian banjir ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah ini. Perhitungan hujan kawasan DAS dengan menggunakan metode *polygon Thiessen*. Penelitian ini menghasilkan enam tipe poligon dan masing-masing stasiun memiliki bobot yang berbeda.

Tabel 1. Data curah hujan pada saat kejadian banjir

Pos Hujan	Curah Hujan (mm)			
	20 Des 2016	21 Des 2016	22 Des 2016	23 Des 2016
Asakota Jatiwangi	98	104	2,0	163
Raba	23	101	29	129
Rasanae Timur	-	124	13	107
Wawo	15	111	55	35
ARR Walikota	1,2	130,4	67,6	103
ARR Salahuddin Bima (BMKG)	0,1	34,2	0,6	17,1
ARR Kumbe	12	-	-	-

2.2.2. Data Tataguna Lahan

Peta penggunaan lahan DAS diperoleh dari peta penggunaan lahan dalam dokumen rencana tata ruang dan wilayah (RTRW) Kota Bima tahun 2011–2031 (Bappeda Kota Bima, 2012), hasil digitasi peta digital *Google Earth* tahun 1996, 2006 dan 2016. Proses digitasi peta dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak ArcGIS 10.3 dan *Google Earth Pro*. Kondisi DAS dapat ditunjukkan pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Peta digital kondisi DAS pada Desember 2016.

2.3 Model HEC–GeoHMS

HEC-GeoHMS yang merupakan ekstensi dari perangkat arcGIS menyediakan fitur-fitur yang dipakai dalam proses penyiapan permodelan simulasi hujan-aliran perangkat lunak HEC-HMS (Fleming & Doan, 2013). Penyiapan model simulasi hujan-aliran meliputi beberapa tahapan yaitu pengolahan data topografi, delineasi, karakteristik sub-DAS dan jaringan sungai serta penyiapan file HEC-HMS.

2.3.1 Data topografi

Data yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah data *Digital Elevation Model* (DEM) satelit *Alaska Alos Palsar* bersumber dari *Alaska Satellite Facility* (ASF) yang mempunyai tingkat kedetailan 12,5 meter. Pengolahan data topografi melalui tahapan–tahapan pada fitur *preprocessing* (UAF, 2015).

2.3.2 Delineasi DAS

Proses delineasi DAS dilakukan dengan perangkat lunak ArcMap dengan menggunakan tambahan perangkat lunak HEC-GeoHMS. Delineasi DAS bertujuan untuk membuat batas–batas DAS sesuai dengan keadaan topografi dan memberi batasan daerah penelitian. Tahapan yang dilakukan untuk delineasi DAS dan sub-DAS menggunakan *tools* yang tersedia dalam perangkat lunak tersebut. Tahapan tersebut tersedia pada fitur *project setup*.

2.3.3 Karakter sub-DAS dan jaringan sungai

HEC-GeoHMS menyediakan fitur untuk karakter DAS dan jaringan sungai yang dipergunakan untuk mengolah dan penyiapan parameter karakteristik daerah tangkapan dan sungai melalui tahapan–tahapan pada fitur *basin processing* dan *characteristics*.

2.3.4 Penyiapan parameter kehilangan (*loss*)

Penyiapan ini meliputi penyiapan parameter metode kehilangan (*loss*) yaitu nilai CN dan kehilangan awal (*initial abstraction*) dengan menggunakan fitur *utility*. Proses ini menghasilkan layer CN *grid* yang kemudian dimasukkan dalam *layer* sub-DAS (*basin*) untuk menghasilkan nilai CN pada tiap area di dalam sub-DAS (*basin*).

2.3.5 Penyiapan *output* file HEC-HMS

Tahapan ini menyediakan fitur untuk penyiapan akhir sebelum data diekspor menjadi data yang dapat dijalankan dengan perangkat lunak HEC-HMS. Fitur ini terdiri dari *map to HMS unit*, *HMS schematic*, *coordinate*, *basin model file*, *meteorological model file*, dan *HEC-HMS project*.

2.4 Komponen model HEC–HMS

Perangkat lunak HEC-HMS menyediakan fitur untuk simulasi hidrograf banjir DAS yaitu penghitungan hidrograf banjir dengan menggunakan masukan dari proses yang telah terlebih dahulu disiapkan dengan perangkat lunak ArcGIS dan HEC-GeoHMS. Komponen model, metode dan parameter yang digunakan dalam HEC-HMS ditunjukkan pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Komponen model HEC-HMS

No.	Model	Metode	Parameter
1	Kehilangan (<i>loss</i>)	SCS-CN	Kehilangan awal (<i>initial abstraction</i>), CN
2	Transformasi (<i>transform</i>)	Model hidrograf satuan sintetik <i>Nakayasu</i>	Panjang sungai utama, kemiringan sungai (<i>slope</i>)
3	Aliran dasar (<i>baseflow</i>)	<i>Recession</i>	Debit awal (<i>initial discharge</i>) dan resesi konstan (<i>recession constant</i>)
4	Penelusuran sungai (<i>routing</i>)	<i>Maskingum Cunge</i>	Masukan parameter <i>cross section</i> pada ruas sungai (<i>reach</i>)
5	Data hujan (<i>precipitation</i>)	Hujan kejadian banjir	Hujan 21 dan 23 Des 2016

Basin model yang digunakan dalam HEC-HMS adalah pemodelan konfigurasi sistem DAS yang menunjukkan skema penelusuran aliran menuju titik tinjau hitungan hidrograf banjir seperti pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. *Basin model* HEC-HMS hitungan hidrograf banjir di Kota Bima.

2.5 Transformasi hujan-aliran

2.5.1 Volume limpasan

Hujan yang turun pada DAS sebagian akan mengalir di permukaan dan menjadi aliran di sungai. Respon DAS terhadap hujan yang turun berupa debit dan volume aliran yang tergantung pada curah hujan dan karakter DAS. Volume limpasan atau hujan efektif dihitung menggunakan metode SCS-CN.

2.5.2 Metode transformasi hujan-aliran

Oleh karena tidak tersedia data debit aliran terukur pada titik tinjau atau *outlet* yang diamati, maka transformasi hujan menjadi aliran dilakukan menggunakan metode hidrograf satuan sintetik *Nakayasu*.

2.5.3 Aliran dasar

Perhitungan aliran dasar menggunakan metode *recession* dengan debit awal (*initial discharge*) dan konstanta resesi (*recession constant*) sebesar 0,9. Penentuan debit awal (*initial discharge*) memakai pendekatan metode *slope area* dikarenakan tidak tersedianya data debit sungai.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Parameter DAS

Analisis data DEM menghasilkan delineasi batas-batas DAS Rontu dengan dua sub-DAS yaitu sub-DAS Padolo dan sub-DAS Malayu. Titik tinjau hidrograf banjir sebagai *outlet* untuk sub-DAS Padolo adalah di lokasi Jembatan Padolo 3, sedangkan untuk sub-DAS Malayu di Jembatan Malayu. Sub-DAS terdiri dari *basin* dan *river* dengan atribut yang akan diisi melalui proses HEC-GeoHMS sesuai dengan metode yang ditentukan.

Atribut *basin* akan diisi dengan parameter nilai CN, *initial abstraction* (I_a), sedangkan nilai areal kedap air (*impervious area*) dianggap sudah terwakili oleh CN. Hasil delineasi masing-masing sub-DAS menggunakan titik *outlet* yang telah ditentukan ditunjukkan dalam Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Luas sub-DAS pada DAS Rontu

No	Nama Sub-DAS	Luas (km ²)
1	Padolo	214,65
2	Malayu	37,98
Jumlah		252,63

Parameter *CN* dan *Ia* diperoleh dari data penggunaan lahan melalui proses digitasi peta digital tahun 1996, 2006 dan 2016 (kejadian bencana banjir). Hasil digitasi peta penggunaan lahan tersebut akan di tumpang-susunkan (*overlay*) dengan peta kelompok hidrologi tanah (KHT) kemudian bersama dengan tabel nilai *CN* akan diproses menjadi *layer CN grid*. *Layer CN grid* dengan variasi tahun yang berbeda akan dimasukkan ke dalam *basin Padolo* dan *basin Malayu* untuk menghasilkan nilai *CN*. Data distribusi penggunaan lahan hasil digitasi peta digital *Google Earth* pada masing-masing sub-DAS dapat ditunjukkan pada Tabel 4 dan 5 sedangkan penyebaran jenis tanah dengan kelompok hidrologi tanah (KHT) pada DAS Rontu disajikan pada Tabel 6 berikut ini.

Tabel 4. Distribusi penggunaan lahan sub-DAS Padolo

No.	Penggunaan Lahan	1996		2006		2016		Perubahan 1996-2016 (%)
		Luas (km ²)	(%)	Luas (km ²)	(%)	Luas (km ²)	(%)	
1	Pemukiman	2,56	1,19	5,46	2,59	8,54	3,98	2,78
2	Hutan	101,28	47,18	80,80	37,64	43,05	20,05	-27,13
3	Semak	75,36	35,11	62,60	29,02	50,53	23,54	-11,57
4	Tanah Terbuka	27,28	12,71	35,13	16,37	38,79	18,07	5,36
5	Tegalan/Ladang	2,56	1,19	20,21	9,48	60,51	28,19	27,00
6	Sawah	5,60	2,61	10,45	4,90	13,25	6,17	3,56
Jumlah		214,65	100,00	214,65	100,00	214,65	100,00	

Tabel 5. Distribusi penggunaan lahan sub-DAS Malayu

No	Penggunaan Lahan	1996		2006		2016		Perubahan 1996-2016 (%)
		Luas (km ²)	(%)	Luas (km ²)	(%)	Luas (km ²)	(%)	
1	Pemukiman	1,63	4,30	2,02	5,31	3,50	9,22	4,92
2	Hutan	19,97	52,57	12,98	34,17	5,75	15,15	-37,43
3	Semak	12,07	31,78	10,85	28,55	9,76	25,68	-6,09
4	Tanah Terbuka	1,33	3,51	4,25	11,19	4,53	11,94	8,43
5	Tegalan/Ladang	2,09	5,49	6,09	16,04	11,91	31,36	25,87
6	Sawah	0,89	2,35	1,70	4,48	2,40	6,32	3,96
7	Tambak	0,00	0,00	0,09	0,24	0,13	0,34	0,34
Jumlah		37,98	100,00	37,98	100,00	37,98	100,00	

Tabel 6. Distribusi jenis tanah DAS Rontu

No	Jenis Tanah	Luas (km ²)	(%)	Kelompok Hidrologi Tanah (KHT)
1	Aluvial	35,68	14,12	A
2	Mediteran Coklat	216,95	85,88	B
Total		252,63	100,00	

3.2. Analisis nilai CN

Perubahan penggunaan lahan akan berdampak pada perubahan respon terhadap DAS yang ditandai dengan berubahnya debit puncak aliran maupun volume limpasan. Fenomena hidrologi ini terkait dengan faktor hujan efektif yang ditentukan berdasarkan nilai *losses* dengan pendekatan nilai CN. Nilai CN suatu satuan luas lahan ditetapkan berdasarkan jenis tanah, KHT dan tingkat kebasahan yang dipengaruhi oleh kejadian hujan beberapa hari sebelumnya. Nilai CN untuk KHT dapat ditunjukkan pada Tabel 7 (Suphunnorranop, 1985).

Tabel 7. Nilai CN kondisi normal

No.	Penggunaan Lahan	Kelompok Hidrologi Tanah (KHT)			
		A	B	C	D
1	Pemukiman	98	98	98	98
2	Hutan	44	66	76	82
3	Semak	48	67	77	83
4	Tanah Terbuka	68	79	86	89
5	Tegalan/Ladang	71	80	87	90
6	Sawah	60	71	78	81
7	Tambak	100	100	100	100

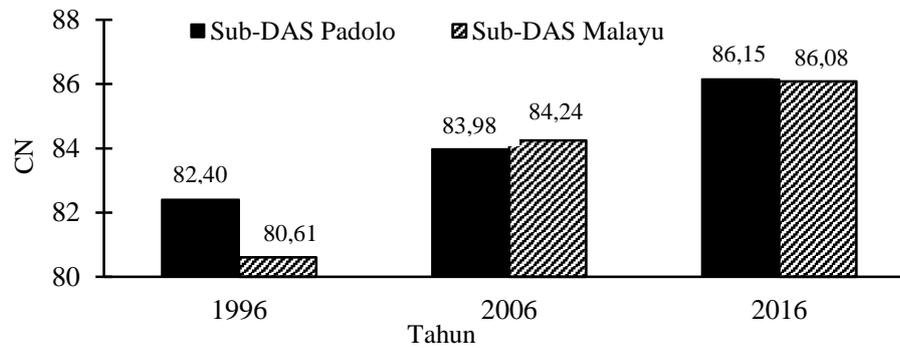
Perhitungan nilai *CN* komposit menggunakan asumsi lahan dalam kondisi basah dengan indikator terjadinya hujan pada lima hari sebelumnya melebihi 53 mm (Chow, et al., 1988). Hasil perhitungan perubahan nilai *CN* pada masing-masing sub-DAS pada kondisi basah ditunjukkan pada Tabel 8, 9 dan Gambar 4 berikut ini.

Tabel 8. Perubahan nilai *CN*

Sub-DAS	Area	Luas (km ²)	CN III (Basah)			Perubahan 1996-2016 (%)
			1996	2006	2016	
Padolo	W140	21,76	81,65	83,92	84,78	3,84
	W150	2,24	86,19	93,89	94,79	9,97
	W160	4,49	81,08	87,79	88,16	8,72
	W190	46,01	81,36	83,33	84,72	4,12
	W200	21,83	82,04	85,41	87,06	6,13
	W210	26,94	81,78	82,96	86,49	5,76
	W230	91,38	83,35	83,84	86,56	3,86
Malayu	W20	37,98	80,61	84,24	86,08	6,78

Tabel 9. Hasil hitungan CN III komposit sub-DAS

No.	Sub-DAS	Tahun Penggunaan Lahan			Perubahan 1996-2016 (%)
		1996	2006	2016	
1	Padolo	82,40	83,98	86,15	4,55
2	Malayu	80,61	84,24	86,08	6,78

**Gambar 4.** Grafik perubahan nilai CN III.

Dari perhitungan CN tiap area dan sub-DAS diperoleh nilai CN komposit DAS Rontu tahun 1996, 2006 dan 2016 masing-masing sebesar 82,13; 84,02; dan 86,14.

3.3. Analisis Hujan

3.3.1. Hujan kawasan DAS

Hujan yang digunakan dalam penelitian ini adalah hujan kawasan DAS yang diolah dari data bersumber dari BMKG Stasiun Mete orologi Sholahuddin Bima. Hasil perhitungan hujan DAS menggunakan metode *polygon Thiessen* dapat ditunjukkan pada Tabel 10 berikut ini.

Tabel 10. Hujan kawasan DAS

No.	Pos Hujan	Curah Hujan (mm)				Luas Poligon (km ²)
		20 Des 2016	21 Des 2016	22 Des 2016	23 Des 2016	
1	Asakota	98,00	104,00	2,00	163,00	35,60
2	Jatiwangi	23,00	101,00	29,00	129,00	14,81
3	Raba	0,00	124,00	13,00	107,00	63,62
4	Kumbe, Rasanæ Timur	12,00	137,26	14,14	169,22	8,41
5	ARR Kumbe	15,00	111,00	55,00	35,00	120,65
6	Wawo	1,20	130,40	67,60	103,00	14,65
	ARR Walikota					
	Jumlah					257,74
	Hujan Kawasan	22,34	114,63	35,20	84,10	

Hujan kawasan DAS pada kejadian hujan besar tanggal 20, 21, 22 dan 23 Desember 2016 masing-masing sebesar 22,34 mm; 114,63 mm; 35,20 mm dan 24,10 mm. Berdasarkan hasil hitungan hujan kawasan DAS tersebut dapat dicermati bahwa besar banjir dipicu oleh kejadian hujan ekstrim tanggal 21 Desember 2016 yang menyebabkan kondisi lahan DAS mencapai jenuh. Meskipun hujan tanggal 22 dan 23 Desember 2016 tidak sebesar tanggal 21 Desember 2016, namun karena lahan permukaan DAS

masih dalam kondisi relatif jenuh, maka hujan efektif yang menjadi *runoff* atau limpasan banjir cukup besar yang menyebabkan debit aliran sungai mencapai kondisi puncak banjir selama periode 4 hari hujan tersebut.

3.3.2. Distribusi hujan jam-jaman

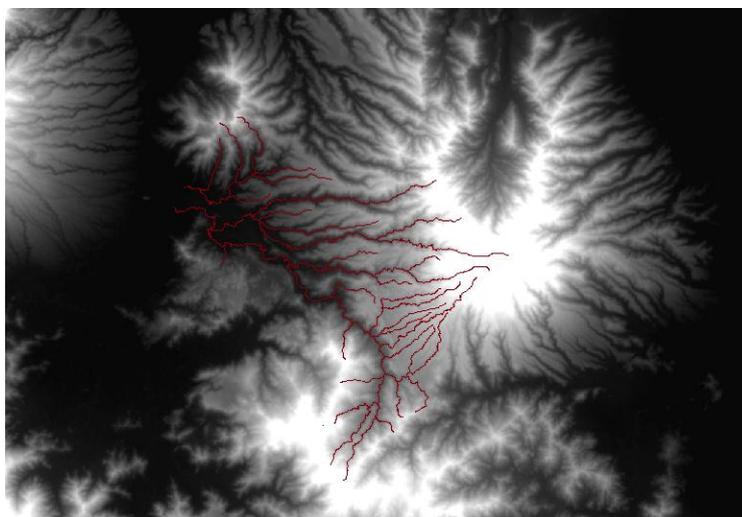
Data hujan yang tersedia pada saat kejadian banjir adalah data hujan harian. Perhitungan simulasi alihragam hujan-aliran diperlukan distribusi hujan jam-jaman. Distribusi hujan jam-jaman menggunakan pola distribusi hujan terukur pada stasiun curah hujan otomatis Walikota dengan durasi hujan ekstrim ditetapkan selama 7 jam. Hasil perhitungan distribusi hujan jam-jaman untuk kejadian hujan ekstrim tanggal 21 Desember 2016 ditunjukkan pada Tabel 11 berikut ini.

Tabel 11. Distribusi hujan jam-jaman tanggal 21 Desember 2016

Jam ke	1	2	3	4	5	6	7	Jumlah
Distribusi hujan (%)	18,22	21,67	21,69	13,20	10,95	7,55	6,73	100
P 21 Des 2016 (mm)	20,89	24,84	24,86	15,13	12,55	8,65	7,71	114,63

3.4. Penyiapan Model Hidrologi HEC-HMS

Hitungan simulasi hidrograf banjir untuk rekonstruksi banjir menggunakan perangkat lunak HEC-HMS versi 4.2, dimana memerlukan penyiapan komponen model menggunakan perangkat lunak HEC-GeoHMS 10.3. Data awal berupa data DEM *Alaska Alos Palsar* dan data layer sungai, seperti ditunjukkan pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Data DEM dan layer sungai DAS Rontu.

Dengan menggunakan fitur-fitur di dalam HEC-GeoHMS dapat diperoleh hasil *layer* untuk ditransformasikan dalam bentuk file yang akan dibuka pada perangkat lunak HEC-HMS, beberapa parameter yang diisi dalam HEC-GeoHMS yaitu titik *outlet* DAS, *loss method*, *transform method*, *routing method* dan menginput *layer CN grid* yang dihasilkan dari *overlay layer* penggunaan lahan (tahun 1996, 2006 dan 2016) dengan *layer* jenis tanah, (KHT) dan tabel *CNLookup*,

Berdasarkan konfigurasi sistem sungai, pada seluruh area studi dapat dibagi ke dalam 2 sub-DAS, yaitu sub-DAS Padolo dan sub-DAS Malayu. Selanjutnya pada sub-DAS Padolo pemodelan konfigurasi daerah tangkapan air dibagi dalam 7 area. Proses penentuan batas masing-masing area sub-

DAS dengan deliniasi peta digital yang tersedia menggunakan ArcGIS 10.3 dan HEC-GeoHMS 10.3. Hasil proses deliniasi batas area sub-DAS ditunjukkan pada Tabel 12 berikut ini.

Tabel 12. Hasil dilineasi sub-DAS

Sub-DAS	Area	Luas (km ²)
Padolo	W140	21,76
	W150	2,24
	W160	4,49
	W190	46,01
	W200	21,83
	W210	26,94
	W230	91,38
Malayu	W20	37,98
Jumlah		252,63

3.5. Kalibrasi Parameter DAS

Debit terukur dari peralatan *Automatic Water Level Recorder* (AWLR) pada sungai yang diamati tidak tersedia, oleh karena itu dilakukan kalibrasi parameter DAS menggunakan acuan debit puncak pada saat kejadian banjir tanggal 21 Desember 2016 di titik tinjau keluaran sub-DAS Padolo pada Jembatan Padolo 3 dan sub-DAS Malayu pada Jembatan Malayu. Metode yang dipergunakan adalah *Percent Error Peak*. Debit puncak pada saat kejadian banjir tanggal 21 Desember 2016 pada Jembatan Padolo 3 sebesar 494,78 m³/s dan Jembatan Malayu sebesar 91,86 m³/s. Prosedur kalibrasi dilakukan terutama untuk parameter *Ia* dengan memperhatikan kondisi penggunaan lahan. Hasil kalibrasi ditunjukkan dengan konstanta pengali hitungan *Ia* seperti pada Tabel 13 di bawah ini.

Tabel 13. Hasil kalibrasi parameter model

No. Sub-DAS	Area	Luas (km ²)	Parameter	Konstanta awal	Hasil kalibrasi
1	W230	184,40	SCS-CN <i>initial</i> <i>abstraction, Ia</i>	0,2 x <i>S</i>	0,15 x <i>S</i>
2	W210	59,00			0,05 x <i>S</i>
3	W200	53,90			0,06 x <i>S</i>
4	Padolo W190	87,60			0,05 x <i>S</i>
5	W160	14,10			0,06 x <i>S</i>
6	W150	11,40			0,07 x <i>S</i>
7	W140	47,00			0,09 x <i>S</i>
8	Malayu W20	37,98			0,20 x <i>S</i>

3.6. Simulasi hidrograf banjir

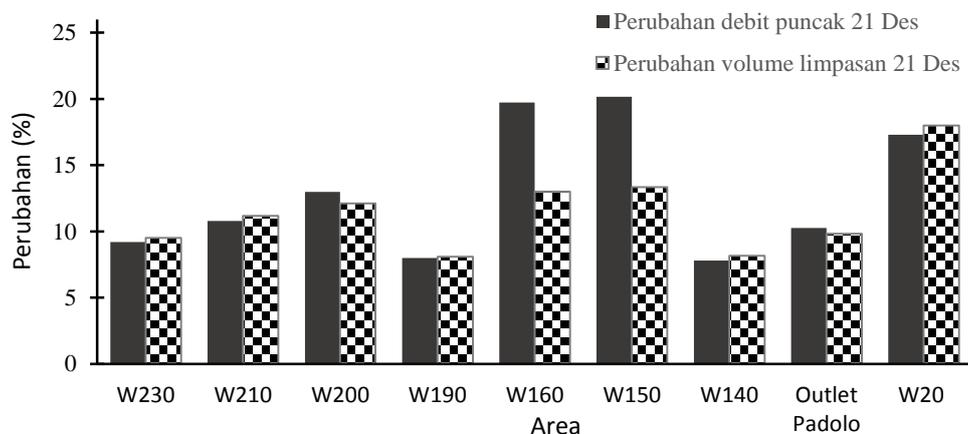
Simulasi hidrograf banjir menggunakan data masukan variasi nilai CN dan *Ia* terkalibrasi sesuai dengan kondisi penggunaan lahan tahun 1996, 2006 dan 2016. Hitungan simulasi hidrograf banjir untuk masing-masing kondisi penggunaan lahan tersebut menggunakan masukan hujan tanggal 21 Desember 2016. Hasil simulasi hidrograf banjir dengan HEC-HMS dapat ditunjukkan dalam Tabel 14, 15 dan Gambar 6 berikut ini.

Tabel 14. Debit puncak banjir hasil simulasi tanggal 21 Desember 2016

No.	Sub-DAS	Area	Luas (km ²)	Qp (m ³ /s)			Perubahan (%)	
				1996	2006	2016	1996-2006	1996-2016
1		W230	91,39	189,10	191,80	206,50	1,43	9,20
2		W210	26,94	63,90	65,60	70,80	2,66	10,80
3		W200	21,83	58,50	63,50	66,10	8,55	12,99
4	Padolo	W190	46,01	96,30	100,80	104,00	4,67	8,00
5		W160	4,49	15,20	18,00	18,20	18,42	19,74
6		W150	2,24	11,90	14,10	14,30	18,49	20,17
7		W140	21,76	50,00	52,80	53,90	5,60	7,80
8	Padolo	<i>Outlet</i>	214,65	447,3	465,30	493,20	4,02	10,26
9	Malayu	W20	37,98	79,80	88,90	93,60	11,40	17,29

Tabel 15. Volume limpasan kondisi basah

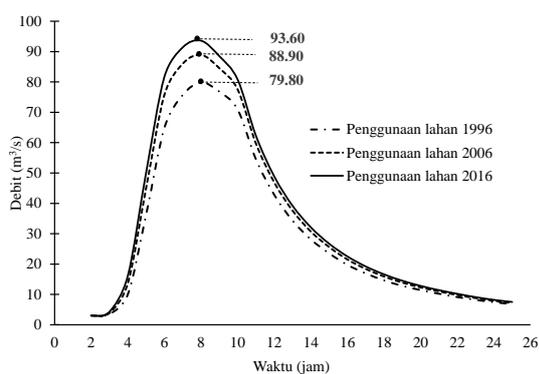
No	Sub-DAS	Area	Luas (km ²)	Volume Limpasan (1000 m ³)			Perubahan (%)	
				1996	2006	2016	1996-2006	1996-2016
1		W230	91,39	6549,20	6642,60	7172,30	1,43	9,51
2		W210	26,94	2124,20	2181,70	2361,50	2,71	11,17
3		W200	21,83	1756,60	1897,20	1969,30	8,00	12,11
4	Padolo	W190	46,01	3380,10	3538,40	3653,80	4,68	8,10
5		W160	4,49	477,50	536,20	539,60	12,29	13,01
6		W150	2,24	316,40	353,80	358,60	11,82	13,34
7		W140	21,76	1620,50	1715,60	1752,70	5,87	8,16
8	Padolo	<i>Outlet</i>	214,65	15783,00	16417,00	17332,80	4,02	9,82
9	Malayu	W20	37,98	2578,80	2882,00	3043,10	11,76	18,00

**Gambar 6.** Perubahan debit puncak (Qp) dan volume limpasan tanggal 21 Desember 2016.

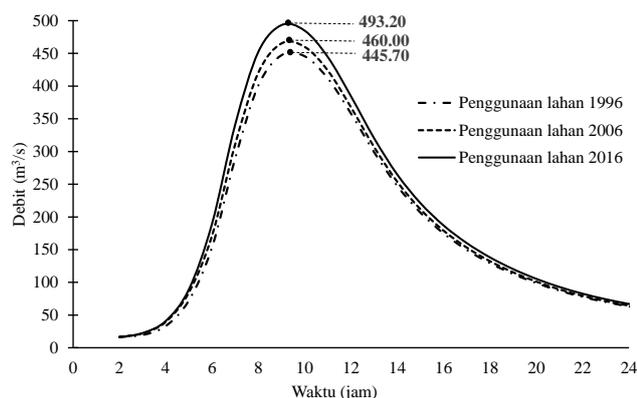
3.7. Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Karakteristik Banjir

Hasil simulasi hidrograf banjir menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan selama 20 tahun pada sub-DAS Padolo memberikan dampak kenaikan Q_p pada titik tinjau sebesar 10,26% dengan Q_p sebesar 493,20 m³/s pada tahun 2016, volume limpasan mengalami kenaikan sebesar 9,82% pada tahun 2016 sebesar 17,33 juta m³. Q_p terbesar terdapat pada area W230 (Gambar 3) sebesar 206,50 m³/s pada tahun 2016, sedangkan persentase kenaikan debit puncak tertinggi terdapat pada area W150 (Gambar 3) sebesar 20,17%. Perubahan ini dipengaruhi oleh perubahan penggunaan lahan sub-DAS Padolo yang terjadi pada tahun 1996 sampai dengan 2016 dengan komposisi perubahan pemukiman bertambah 2,78%, hutan berkurang 27,13%, semak belukar berkurang 11,57%, ladang meningkat 27,00%, sawah meningkat 3,56%, Nilai CN sub-DAS Padolo mengalami perubahan sebesar 4,55%.

Sub-DAS Malayu dengan titik tinjau pada jembatan Malayu diperoleh hasil kenaikan Q_p 17,29% dari 79,80 m³/s menjadi 93,60 m³/s dan kenaikan volume limpasan 18,00% dari 2,57 juta m³ menjadi 3,04 juta m³. Perubahan ini dipengaruhi oleh perubahan penggunaan lahan yang terjadi pada tahun 1996 sampai dengan 2016 dengan komposisi perubahan pemukiman bertambah 4,92%, hutan berkurang 37,43%, semak belukar berkurang 6,06%, ladang meningkat 25,87%, sawah meningkat 3,96%, Nilai CN sub-DAS Malayu mengalami perubahan sebesar 6,78%. Perkembangan penggunaan lahan untuk keperluan pemukiman, industri, perdagangan, perkantoran. Hal ini memicu kenaikan nilai CN yang berarti terjadi penurunan I_a . Hidrograf banjir pada masing-masing sub-DAS dapat ditunjukkan dalam Gambar 7 dan 8 sedangkan rekapitulasi hasil dari simulasi hidrograf banjir dapat ditunjukkan pada Tabel 16.



Gambar 7. Hidrograf banjir sub-DAS Malayu



Gambar 8. Hidrograf banjir sub-DAS Padolo

Tabel 16. Rekapitulasi hasil simulasi hidrograf banjir

Penggunaan lahan (Tahun)	CN Padolo	Initial abstraction <i>Ia</i> (mm)	Hujan	Q puncak (m ³ /s)	Volume banjir (1000 m ³)	Perubahan		
						CN (%)	Q puncak (%)	Volume banjir (%)
sub-DAS Padolo								
1996	82,40	5,17	21 Des 2016	447,3	15783,00	-	-	-
2006	83,98	4,76	21 Des 2016	465,30	16417,00	1,91	4,05	4,02
2016	86,15	3,94	21 Des 2016	493,20	17332,80	4,55	10,26	9,82
sub-DAS Malayu								
1996	80,61	12,22	21 Des 2016	79,80	2578,80	-	-	-
2006	84,24	9,51	21 Des 2016	88,90	2882,00	4,50	11,40	11,76
2016	86,08	8,22	21 Des 2016	93,60	3043,10	6,78	17,29	18,00

Sub-DAS Padolo hasil simulasi dengan penggunaan lahan tahun 1996 sampai dengan tahun 2016 dengan masukan hujan pada saat kejadian banjir tanggal 21 Desember 2016 dengan kondisi DAS basah nilai CN meningkat 4,55% semula 82,40 menjadi 86,15 sehingga terjadi penurunan nilai *Ia* sebesar 23,68%, meningkatkan *Qp* 10,26% dan meningkatkan volume banjir sebesar 9,82%.

Hasil simulasi dengan penggunaan lahan tahun 1996 sampai dengan tahun 2016 dengan masukan hujan pada saat kejadian banjir tanggal 21 Desember 2016 pada sub-DAS Malayu dengan kondisi basah nilai CN meningkat 8,22% semula 80,61 menjadi 86,22 sehingga terjadi penurunan nilai *Ia* sebesar 32,75%, meningkatkan *Qp* 17,29% dan meningkatkan volume banjir sebesar 18,00%.

4. Kesimpulan

Dari hasil kajian pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap karakteristik banjir dapat disimpulkan sebagai berikut ini.

- Penggunaan lahan pada DAS Rontu pada tahun 1996 sampai dengan 2016 mengalami perubahan terutama dari lahan hutan, semak belukar, tanah terbuka berubah menjadi pemukiman, sawah dan tegalan, selama 20 tahun penurunan luas hutan 28,68%, peningkatan pemukiman 3,10%, peningkatan ladang tegalan 26,83%, peningkatan tanah terbuka 5,82%, semak belukar menurun 10,74% peningkatan sawah 3,62%.
- Perubahan penggunaan lahan dalam kurun waktu dua puluh tahun mengakibatkan peningkatan nilai CN komposit pada DAS Rontu 4,88% dari 82,13 menjadi 86,14. Peningkatan nilai CN terjadi pada dua sub-DAS yaitu sub-DAS Padolo dari 82,40 menjadi 86,15 dan pada sub-DAS Malayu dari 80,61 menjadi 86,06.
- Banjir yang terjadi di Kota Bima selain disebabkan curah hujan yang sangat lebat juga dipengaruhi perubahan penggunaan lahan selama 20 tahun dari tahun 1996 sampai dengan 2016. Peningkatan nilai CN kondisi basah pada sub-DAS Padolo 4,55% dan sub-DAS Malayu 6,78% menyebabkan penurunan nilai *Ia* sebesar 23,68% dan kenaikan *Qp* 10,26%, serta kenaikan volume limpasan 38,74%. Pada sub-DAS Malayu mengalami penurunan *Ia* sebesar 32,75%, sehingga terjadi kenaikan *Qp* 17,29% dan kenaikan volume limpasan 18,00%.

Daftar Pustaka

- Aurdin, Y. (2014). Pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap karakteristik hidrograf banjir (Studi Kasus DAS Dengkeng dan DAS Jlantah Bagian Hulu Bengawan Solo Kabupaten Sukoharjo, Provinsi Jawa Tengah). *Jurnal tekno Global*, 3(1), 1-13. Diambil dari situs <http://eprints.uigm.ac.id/13/>
- Chow, V.T., Maidment, D.R., & Mays L.W. (1988) *Applied Hydrology*. Singapore: McGraw-Hill
- Fleming, M. J. & Doan, J. H. (2013). *HEC-GeoHMS Geospatial Hidrologic Modeling Extention, User's Manual*. California: U.S. Army Corps of Engineers (USACE).
- Halim, F. (2014). Pengaruh Hubungan Tataguna Lahan Dengan Debit Banjir Pada Daerah Aliran Sungai Malalayang. *Ilmiah Media Engineering*, 4(1), 45-54.
- Marko, K. & Zulkarnain, F. (2018) Pemodelan debit banjir sehubungan dengan prediksi perubahan tutupan lahan di daerah aliran Ci Leungsi Hulu menggunakan HEC-HMS. *Jurnal Geografi Lingkungan Tropik*, 2(1), 26-37. <https://dx.doi.org/10.7454/jglitrop.v2i1.31>
- Suphunvorranop, T. (1985). *Technical Publication No. 85-5 A Guide To SCS Runoff Procedures*. Florida, USA: Department of Water Resources.
- UAF. (2015). *Alaska Satellite Facility*. Diambil dari situs <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>