



Analisis Genangan Banjir di Kawasan Sekitar Kolam Retensi dan Rencana Pengendaliannya, Studi Kasus: Kolam Retensi Siti Khadijah Palembang

M. Baitullah Al Amin¹

[Diterima: 13 Januari 2016; disetujui dalam bentuk akhir: 20 Juni 2016]

Abstrak. Kawasan di sekitar kolam retensi Siti Khadijah Palembang, terutama jalan Demang Lebar Daun sering mengalami genangan banjir akibat luapan air dari kolam retensi, sehingga menyebabkan kemacetan lalu-lintas yang cukup panjang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik genangan banjir di kawasan tersebut pada kondisi eksisting dan dengan skenario pengendalian menggunakan sistem pompa dan peningkatan luasan ruang terbuka hijau (RTH). Penelusuran banjir di kolam retensi dilakukan dengan bantuan program HEC-HMS, sedangkan visualisasi genangan banjir dilakukan dengan bantuan program Global Mapper. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas kolam retensi saat ini sudah tidak mencukupi untuk menampung volume limpasan, dimana debit puncak banjir periode ulang 5 tahun sebesar 22,2 m³/s berpotensi menggenangi kawasan sekitar kolam dengan luasan mencapai 11,09 Ha. Pengendalian banjir menggunakan pompa berkapasitas total 4 m³/s mampu mereduksi luasan genangan sebesar 58,79%, sedangkan pengendalian banjir dengan peningkatan RTH sebesar 30% hanya mampu mereduksi luasan genangan sebesar 15,33%. Kombinasi pengendalian banjir menggunakan pompa banjir dan peningkatan RTH mampu mereduksi luasan genangan banjir sebesar 75,92%. Dengan metode pengendalian tersebut dihasilkan kedalaman genangan maksimum kurang dari 0,5 m dengan potensi lama genangan hanya selama 20 menit, dimana jalan Demang Lebar Daun tidak lagi tergenang. Untuk mitigasi banjir jangka pendek diperlukan pembangunan stasiun pompa banjir di kolam retensi Siti Khadijah, sedangkan untuk jangka panjang diperlukan penyediaan RTH yang dilakukan secara bertahap dan berkelanjutan.

Kata kunci. kolam retensi, HEC-HMS, penelusuran banjir, pengendalian banjir.

[Received: 13 January 2016; accepted in final version: 20 June 2016]

Abstract. The area near the Siti Khadijah Palembang retention pond, especially Demang Lebar Daun street, is frequently inundated because of the overflowing of the retention pond, causing long traffic jams. This study aims to analyze the characteristics of flood inundation within the area for the existing situation and for a scenario of flood control using a pump system and an increase in open space. The flood routing within the retention pond was done using HEC-HMS software, while visualization of flood inundation was carried out using Global Mapper software. The results show that the capacity of the retention pond at this time is insufficient to accommodate run-off volume, whereas the flood peak discharge of 22.2 m³/s for a 5-year return

¹ Jurusan Teknik Sipil dan Pusat Penelitian Manajemen Air dan Lahan Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Palembang-Prabumulih Km. 32, Indralaya, Ogan Ilir – Sumatera Selatan (30662), E-mail: baitullah@unsri.ac.id, telp. (0711)580139, faks. (0711)580139.

period has the potential to inundate 11.09 Ha of the surrounding area. Flood control using pumps with a total capacity of 4 m³/s is able to reduce the inundation extent by 58.79%, while a 30% increase in open space is only able to reduce the inundation extent by 15.33%. Furthermore, a combination of flood pumps and an increase in open space can reduce the inundation extent by 75.92%. Using this method results in a maximum inundation depth of less than 0.5 m with a potential inundation time of only 20 minutes, where Demang Lebar Daun street is no longer inundated. For short-term flood mitigation, there is a need to build a flood pump station at the Siti Khadijah retention pond, while for long-term mitigation there is a need to gradually and sustainably provide open space.

Keywords. *retention pond, HEC-HMS, flood routing, flood control.*

Pendahuluan

Banjir dapat menimbulkan kerugian yang sangat besar, diantaranya adalah kerusakan pemukiman (tempat tinggal), perekonomian dan lingkungan suatu wilayah, infrastruktur, dan bahkan kehilangan jiwa manusia (Di Baldassarre, 2012). Bencana banjir dapat diartikan sebagai volume limpasan permukaan yang telah melampaui kapasitas sistem drainase sehingga meluap dan menyebabkan terjadinya genangan air di kawasan sekitarnya (Kodoatie, 2013). Dengan kata lain, saluran drainase dan retensi sudah tidak mampu lagi menampung kenaikan limpasan permukaan pada saat hujan deras. Hampir semua kota di Indonesia mengalami bencana banjir, dimana peristiwa ini hampir setiap tahun berulang dengan kecenderungan semakin meningkat baik frekuensinya, luasan, kedalaman, maupun durasinya (Suripin, 2004; Huong dan Pathirana, 2013). Hal ini membutuhkan upaya pengendalian sehingga dampak banjir tidak meluas dan menimbulkan kerugian yang semakin besar.

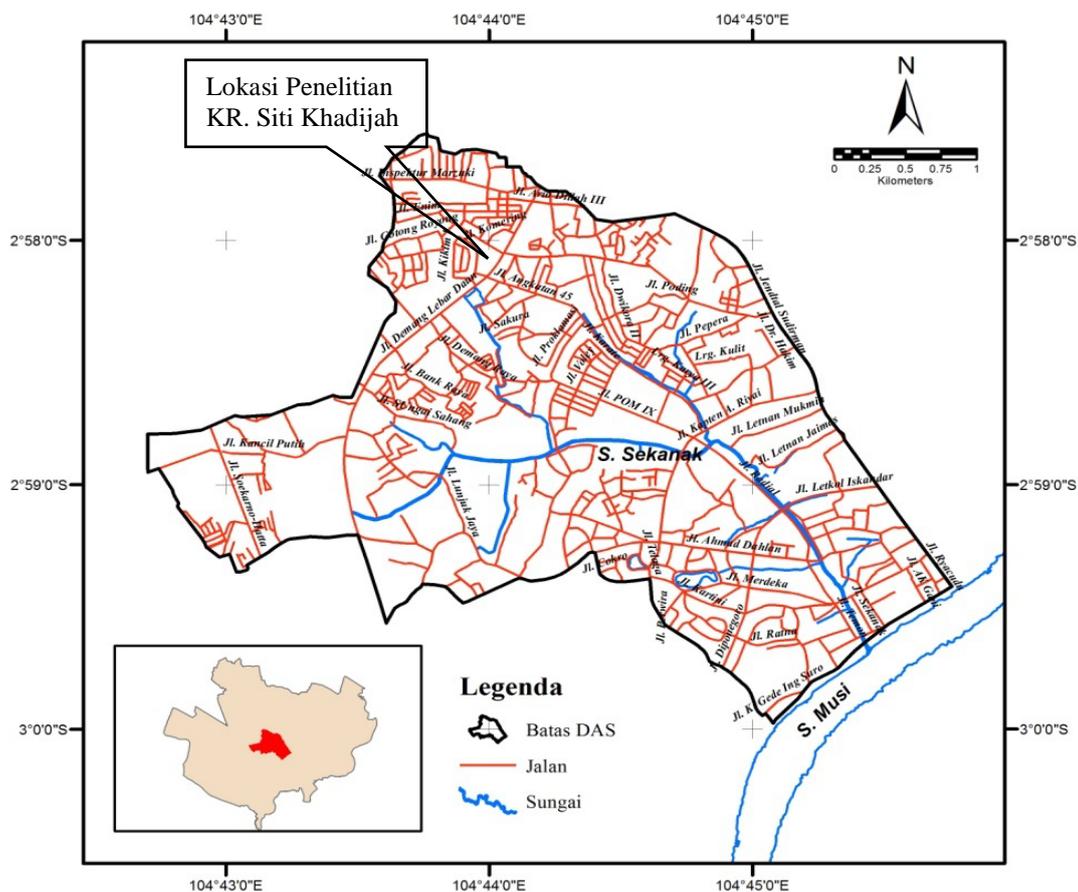
Kota Palembang merupakan salah satu kota metropolitan yang tidak terlepas dari permasalahan banjir. BPPD Palembang (2013) dalam Lubis, dkk. (2015) menyebutkan bahwa kejadian banjir mengalami peningkatan dari 18 kejadian di tahun 2007 menjadi 46 kejadian di tahun 2012. Disamping itu, peningkatan kejadian banjir tersebut juga diikuti oleh peningkatan kedalaman dan lama genangan (Sagala, dkk., 2013 dalam Lubis, dkk., 2015). Salah satu kawasan yang menjadi langganan banjir adalah kawasan di sekitar kolam retensi Siti Khadijah terutama di Jalan Demang Lebar Daun. Sebagai jalan protokol, jalan tersebut merupakan jalan yang padat dengan lalu lintas, sehingga sering menimbulkan kemacetan yang cukup panjang akibat genangan air. Disamping itu, kawasan perumahan di sekitar kolam retensi juga sering mengalami genangan banjir.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik genangan banjir, yaitu kedalaman dan luas genangan melalui penelusuran banjir di kolam retensi Siti Khadijah pada kondisi saat ini dan merencanakan pengendaliannya dengan metode struktural dan nonstruktural. Rencana pengendalian banjir dilakukan dengan beberapa skenario, yaitu penggunaan pompa banjir (metode struktural), peningkatan ruang terbuka hijau (RTH) sebagai metode nonstruktural, dan kombinasi dari pompa banjir dan peningkatan RTH. Skenario tersebut dipilih karena di kolam retensi saat ini tidak tersedia stasiun pompa banjir dan juga kawasan sekitar kolam yang telah penuh dibangun pemukiman dan kawasan niaga. Pada penelitian ini, analisis terhadap jaringan drainase tidak dilakukan dengan maksud membatasi permasalahan. Disamping itu, pada saat kolam retensi meluap terjadi aliran balik (*backwater*) ke saluran drainase yang menyebabkan saluran tersebut tidak berfungsi. Dengan demikian, permasalahan utama dari sistem drainase tersebut lebih dominan pada fungsi tampungan dari kolam retensi.

Metode Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada kolam retensi Siti Khadijah Palembang dan kawasan atau daerah tangkapan hujan di sekitarnya yang merupakan bagian hulu dari subDAS Sekanak seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1. Kawasan kolam retensi tersebut secara administrasi masuk dalam Kecamatan Iir Barat I. Secara umum kawasan tersebut merupakan daerah yang padat, dimana penggunaan lahan didominasi oleh pemukiman, disamping juga sebagai kawasan niaga, komersial, perkantoran, dan ruang publik.

Data primer berupa jaringan dan penampang saluran drainase, bathimetri kolam retensi, dimensi bangunan pelimpah dan pintu air, serta kondisi sistem drainase diperoleh berdasarkan hasil survei dan pengukuran, serta pengamatan langsung di lapangan. Adapun data sekunder seperti peta RTRW, titik tinggi, curah hujan, jenis tanah, jenis penggunaan lahan, dan foto udara diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum PSDA Kota Palembang, BMKG Kenten Palembang, BAPPEDA Kota Palembang, dan instansi lainnya. Semua data yang dikumpulkan tersebut kemudian diolah dan dianalisis menggunakan metode yang sesuai dan relevan. Pengolahan dan analisis data digital, serta visualisasi genangan dilakukan menggunakan teknik sistem informasi geografis (SIG) dengan bantuan perangkat lunak Global Mapper, sedangkan penelusuran banjir menggunakan pemodelan hidrologi dengan bantuan perangkat lunak HEC-HMS.

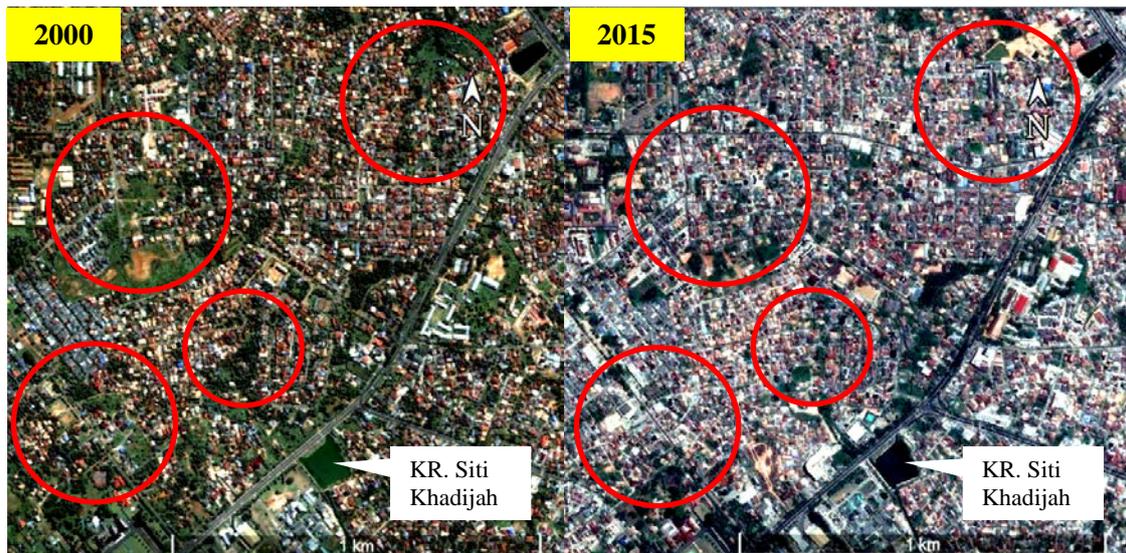


Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Hasil dan Pembahasan

Penyebab Banjir dan Lokasi Genangan

Genangan banjir di kawasan sekitar kolam retensi Siti Khadijah secara umum disebabkan oleh kapasitas kolam retensi yang tidak mencukupi, pintu air yang tidak berfungsi dengan baik, dan



Gambar 2. Citra Satelit Menunjukkan Perubahan Penggunaan Lahan Di Lokasi Penelitian
Sumber: Citra Google Earth



Gambar 3. Lokasi Genangan Di Kawasan Sekitar Kolam Retensi
Sumber: Citra Google Earth dan Dokumentasi Penulis

tidak tersedianya pompa banjir. Disamping itu, perubahan penggunaan lahan di kawasan sekitarnya menjadi area yang terbangun turut memicu terjadinya banjir. Hal ini didasarkan pada hasil pengamatan di lapangan secara langsung, wawancara dengan masyarakat sekitar, serta analisis foto udara (tahun 2000 dan 2015) yang menunjukkan perubahan penggunaan lahan dan lokasi genangan seperti yang diberikan pada Gambar 2 dan 3. Selama kurun waktu 15 tahun tersebut, terjadi perubahan penggunaan lahan yang sangat signifikan yang ditandai dengan lingkaran berwarna merah (Gambar 2), dimana hal ini merupakan pola umum yang terjadi akibat pembangunan dan perkembangan suatu kota (Suripin, 2004). Perubahan lahan menjadi area terbangun menyebabkan berkurangnya kemampuan lahan, sehingga dapat meningkatkan frekuensi terjadinya banjir. Hal ini disebabkan karena berkurangnya area resapan, sehingga mengakibatkan volume limpasan permukaan bertambah (Lubis, dkk., 2015; Huong dan Pathirana, 2013; Kodoatie, 2013; Suripin, 2004).

Kriteria Desain Hidrologi

Kriteria perancangan hidrologi untuk pembangunan kolam retensi mengacu pada periode ulang, yaitu waktu hipotetik dimana suatu besaran kejadian (hujan atau debit aliran) akan disamai atau dilampaui sekali dalam kurun waktu tersebut. Periode ulang juga menunjukkan probabilitas atau kemungkinan suatu kejadian tersebut akan terjadi setiap tahunnya (Triatmodjo, 2008). Penetapan periode ulang untuk perencanaan kolam retensi berdasarkan luas daerah tangkapan hujan dan topologi kota dan dapat mengacu pada Tabel 1.

Tabel 1. Periode Ulang untuk Perencanaan Kolam Retensi

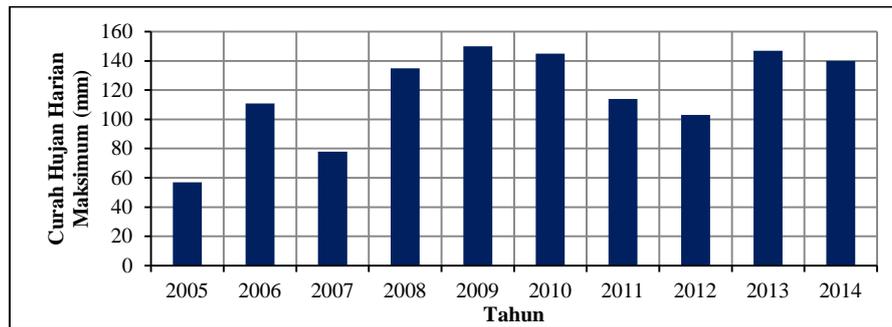
Tipologi Kota	<i>Catchment Area</i> (Ha)			
	< 10	10 - 100	100 – 500	> 500
Kota Metropolitan	2 thn	2 – 5 thn	5 - 10 thn	10 – 25 thn
Kota Besar	2 thn	2 – 5 thn	2 – 5 thn	5 – 20 thn
Kota Sedang/Kecil	2 thn	2 – 5 thn	2 – 5 thn	5 – 10 thn

Sumber: Permen PU No. 12/PRT/M/2014 Tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan

Untuk Kota Palembang sebagai kota metropolitan dan luasan *catchment area* di lokasi kegiatan adalah sebesar 93,73 Ha, maka digunakan periode ulang 5 tahun. Probabilitas besaran hujan dan atau debit akan disamai atau terlampaui setiap tahunnya adalah sebesar $(1/5) \times 100\% = 20\%$. Hal ini berarti terdapat kemungkinan sebesar 20 persen setiap tahunnya bahwa curah hujan periode ulang 5 tahun akan terjadi dengan besaran yang sama atau lebih besar dari curah hujan tersebut.

Curah Hujan Harian Maksimum

Data curah hujan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan curah hujan harian maksimum selama 10 tahun terakhir, dimulai dari tahun 2005 sampai dengan tahun 2014 yang diperoleh dari BMKG Kota Palembang. Data curah hujan tersebut merupakan hasil pengukuran dari stasiun hujan Tridinanti, yaitu stasiun yang terdekat dengan lokasi penelitian yang telah dipilih besaran maksimumnya yang mewakili tiap tahun dan hasilnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Pemilihan besaran maksimum dimaksudkan untuk menganalisis curah hujan tertinggi yang mungkin terjadi mengingat banjir merupakan kejadian yang ekstrim.



Gambar 4. Curah Hujan Harian Maksimum di Stasiun Hujan Tridinanti
Sumber data: BMKG Kota Palembang

Hujan Rancangan (Analisis Frekuensi)

Dalam penelitian ini analisis frekuensi untuk menentukan hujan rancangan dilakukan dengan seri data maksimum tahunan (*annual maximum series*). Metode ini digunakan karena tersedia data minimal 10 tahun data runtut waktu. Tiap tahun diambil hanya satu besaran maksimum yang dianggap berpengaruh pada analisis selanjutnya. Dengan cara ini, data terbesar kedua dalam suatu tahun yang mungkin lebih besar dari data maksimum pada tahun yang lain tidak diperhitungkan (Triatmodjo, 2008).

Perhitungan analisis frekuensi menggunakan empat jenis distribusi probabilitas, yaitu distribusi normal, log-normal, Gumbel, dan log-Pearson III seperti yang dijelaskan dalam Chow, dkk. (1988). Uji kecocokan yang digunakan untuk menentukan jenis distribusi terpilih adalah uji chi-kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov. Hasil uji kecocokan menunjukkan bahwa distribusi log-Pearson III sebagai distribusi terpilih, sehingga penentuan besaran hujan rancangan menggunakan jenis distribusi tersebut. Besaran hujan rancangan untuk setiap periode ulangnya diberikan pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Besaran Hujan Rancangan untuk Setiap Periode Ulang

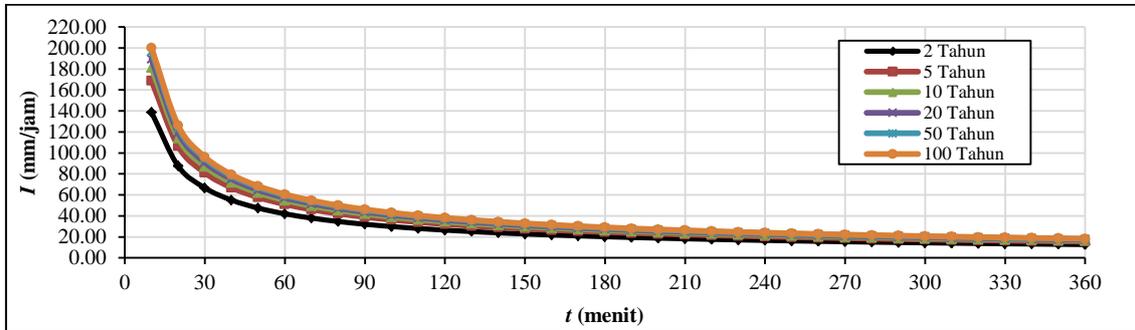
$P(x \geq X_m)$ Probabilitas	T Periode Ulang	Besaran Hujan Rancangan (mm/hari) Tiap Jenis Distribusi							
		Normal		Log-Normal		Gumbel		Log-Pearson III	
		X_T	K_T	X_T	K_T	X_T	K_T	X_T	K_T
0,9	1,1	77,523	-1,282	75,519	-1,345	83,247	-1,100	74,414	-1,328
0,5	2	118,000	0,000	113,352	-0,147	112,812	-0,164	121,270	0,213
0,2	5	144,582	0,842	147,997	0,950	140,724	0,719	147,494	0,831
0,1	10	158,477	1,282	170,136	1,651	159,204	1,305	158,286	1,054
0,05	20	169,951	1,645	190,895	2,308	176,930	1,866	165,480	1,194
0,02	50	182,866	2,054	217,304	3,144	199,875	2,592	171,729	1,311
0,01	100	191,476	2,326	236,910	3,765	217,070	3,137	174,869	1,368
0,001	1,000	215,602	3,090	301,794	5,819	273,885	4,936	179,976	1,459

Sumber: Hasil analisis

Kurva IDF

Hubungan antara intensitas, durasi, frekuensi (IDF) hujan biasanya diberikan dalam bentuk kurva yang disebut sebagai kurva IDF. Kurva tersebut memberikan hubungan antara intensitas hujan sebagai ordinat, durasi hujan sebagai absis, dan beberapa kurva yang menunjukkan frekuensi atau periode ulangnya. Dari kurva tersebut dapat diketahui besarnya intensitas hujan

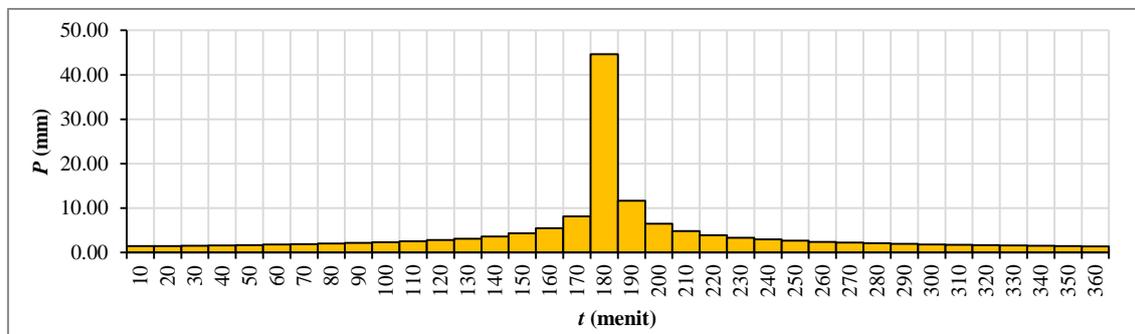
dengan durasi dan pada periode tertentu. Kurva IDF menggunakan metode Mononobe diberikan pada Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Kurva IDF
Sumber: Hasil analisis

Distribusi Hujan

Pola distribusi hujan (*hyetograph*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah pola distribusi hujan metode *alternating block method* (ABM) dengan durasi hujan total selama 6 jam dan interval waktu 10 menit seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 6 di bawah ini. Penggunaan interval waktu tersebut bertujuan untuk mengantisipasi perubahan debit yang signifikan pada selang waktu yang singkat, sehingga menghasilkan penelusuran banjir yang lebih baik.

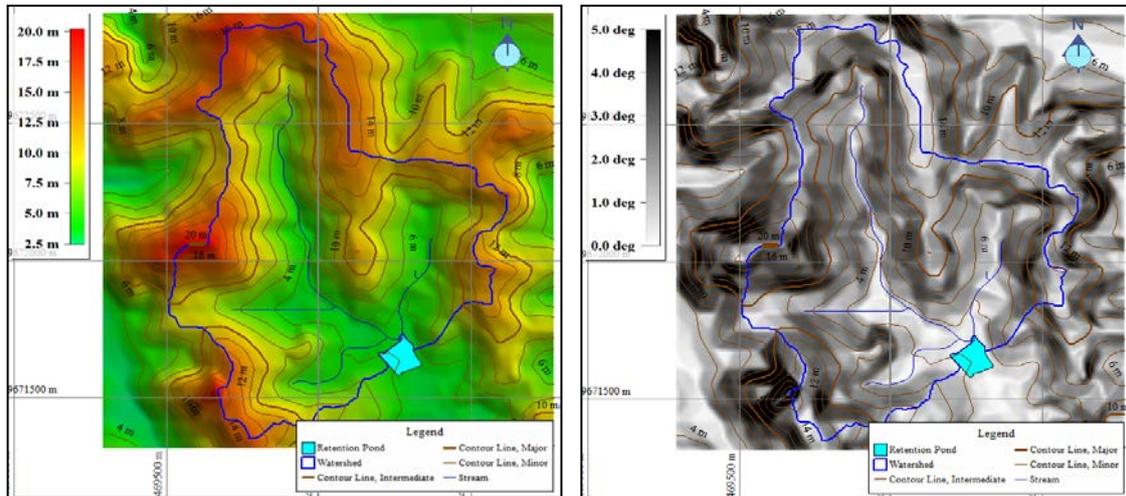


Gambar 6. *Hyetograph* Periode Ulang 5 Tahun
Sumber: Hasil analisis

Catchment Area

Delineasi daerah tangkapan hujan (*catchment area*) dari lokasi penelitian dilakukan berdasarkan analisis terhadap *digital elevation model* (DEM), yaitu peta topografi dalam format 3 dimensi dengan ukuran resolusi grid adalah 10 m x 10 m yang dibuat dari data titik-titik tinggi. Ukuran resolusi 10 m x 10 m tersebut sudah cukup baik untuk analisis banjir (Apirumanekul dan Mark, 2001). Dengan menggunakan DEM tersebut, kemudian dilakukan analisis daerah tangkapan hujan, sehingga diperoleh batas-batas daerah tangkapan hujan seperti yang diberikan pada Gambar 7. Batas-batas daerah tangkapan hujan dan pola aliran yang diperoleh dari hasil analisis tersebut sudah sesuai dengan pola aliran eksisting di lapangan. Pada Gambar 7 tersebut diperoleh bahwa luas daerah tangkapan hujan adalah 93,73 Ha. Elevasi terendah adalah +3,212

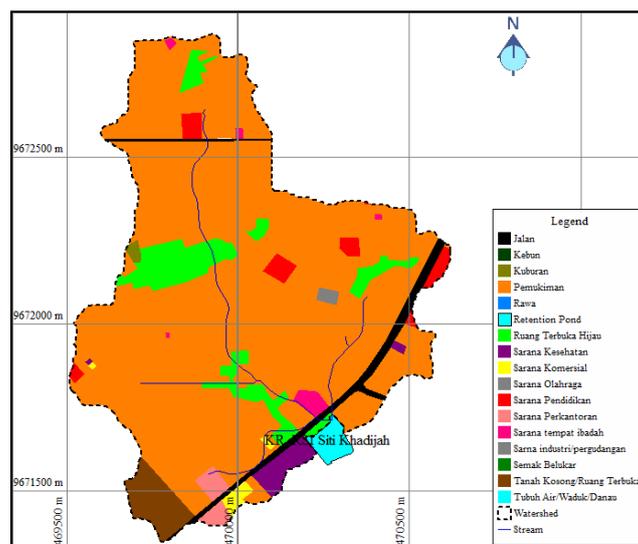
m, sedangkan elevasi tertinggi adalah +20,00 m. Berdasarkan analisis kemiringan lahan diperoleh bahwa kemiringan lahan rata-rata adalah sebesar 2,33° atau 4,06%.



Gambar 7. Peta DEM dan Kemiringan Lahan Yang Dioverlay Dengan Batas *Catchment Area*
Sumber: Hasil analisis

Jenis Penggunaan Lahan

Jenis penggunaan lahan pada *catchment area* kolam retensi diberikan dalam Gambar 8. Adapun rinciannya diberikan pada Tabel 3. Pada Gambar 8 dan Tabel 3 tersebut, jenis penggunaan didominasi oleh pemukiman dengan luasan sebesar 75,96 Ha (81,04%), ruang terbuka hijau sebesar 6,58 Ha (7,02%), dan jalan sebesar 2,73 Ha (2,92%). Persentase luasan pemukiman sebesar 81,04% tersebut sangat berpotensi untuk menyebabkan debit limpasan yang besar. Adapun persentase ruang terbuka hijau sebesar 7,02% dirasa masih sangat jauh dari ideal, yaitu minimal sebesar 30%.



Gambar 8. Jenis Penggunaan Lahan Di Catchment Area Kolam Retensi tahun 2013
Sumber data: BAPPEDA Kota Palembang (2013)

Tabel 3. Rincian Jenis Penggunaan Lahan Tahun 2013

No.	Jenis Penggunaan Lahan	A (Ha)	A (%)
1	Jalan	2,734	2,917
2	Sarana kesehatan	1,427	1,523
3	Sarana pendidikan	1,867	1,992
4	Pemukiman	75,957	81,036
5	Ruang Terbuka Hijau	6,581	7,021
6	Tanah kosong/Ruang Terbuka	2,490	2,657
7	Sarana komersial	0,549	0,586
8	Sarana tempat ibadah	0,702	0,749
9	Sarana perkantoran	0,974	1,040
10	Tubuh Air/Waduk/Danau	0,001	0,001
11	Sarana olahraga	0,245	0,261
12	Kuburan	0,205	0,218
Jumlah		93,733	100,000

Sumber: Hasil analisis

Jenis Tanah

Jenis tanah di lokasi penelitian didominasi oleh glei humus dan organosol atau yang sering disebut sebagai tanah gambut seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 9. Jenis tanah ini umumnya ditemui pada dataran rendah dan rawa-rawa dengan topografi yang datar dan banyak cekungan. Jenis tanah ini memiliki kategori permeabilitas yang kurang baik (lambat) karena bertekstur debu lempung. Dalam analisis debit limpasan, kelompok tanah secara hidrologi (*hydrologic soil groups*) dikategorikan menjadi empat kelompok seperti yang diberikan dalam Tabel 4. Berdasarkan karakteristik dari jenis tanah di lokasi penelitian, maka jenis tanah tersebut dikategorikan dalam kelompok C.

**Gambar 9.** Tanah Humus**Tabel 4.** Kelompok Tanah Secara Hidrologi

Kelompok Tanah Hidrologi	Tekstur Tanah
A	Pasir, pasir berlempung, atau lempung berpasir
B	Lempung lanau atau lempung
C	Lempung lanau berpasir
D	Lempung liat, lempung liat berlanau, liat berpasir, lempung berlanau, atau liat

Sumber: NRCS (1986)

Curve Number (CN) dan Persentase Luasan Kedap Air

Metode *Soil Conservation Service – Curve Number (SCS-CN)* digunakan dalam analisis hujan-limpasan karena ketersediaan data dan merupakan metode yang telah teruji dan diterima untuk digunakan di seluruh dunia (Feldman, 2000; Day dan Bremer, 2013). Nilai *CN* untuk suatu daerah tangkapan hujan merupakan fungsi jenis penggunaan lahan, jenis tanah, kelembaban daerah tangkapan hujan (*antecedent watershed moisture*). Pada dasarnya, semakin kedap suatu permukaan lahan dan semakin rendah permeabilitas tanah, maka nilai *CN* akan semakin besar, begitu pun sebaliknya (Feldman, 2000). Penentuan nilai *CN* dilakukan menggunakan tabel standar yang diberikan oleh *Natural Resources Conservation Service (NRCS)* yang dulu bernama *SCS* dalam *NRCS (1986)*, Feldman (2000), (Mays, 2001), Triatmodjo (2008). Dengan memperhatikan jenis penggunaan lahan dan kelompok jenis tanah dari lokasi kegiatan, maka perhitungan nilai *CN* diberikan dalam Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Perhitungan *CN* dan Persentase Luasan Kedap Air Rata-Rata

No.	Jenis Penggunaan Lahan	A (Ha)	CN	A x CN	% Imperv	A x % Imperv
1	Jalan	2,734	92	251,52	100	273,39
2	Sarana kesehatan	1,427	94	134,17	85	121,32
3	Sarana pendidikan	1,867	94	175,50	50	93,35
4	Pemukiman	75,957	90	6836,12	65	4937,20
5	Ruang Terbuka Hijau	6,581	79	519,89	5	32,90
6	Tanah kosong/Ruang Terbuka	2,490	86	214,15	2	4,98
7	Sarana komersial	0,549	94	51,63	85	46,68
8	Sarana tempat ibadah	0,702	94	66,02	85	59,70
9	Sarana perkantoran	0,974	94	91,60	85	82,83
10	Tubuh Air/Waduk/Danau	0,001	100	0,08	0	0,00
11	Sarana olahraga	0,245	94	23,03	85	20,83
12	Kuburan	0,205	86	17,61	5	1,02
Jumlah		93,733		8381,31		5674,20

Sumber: Hasil analisis

Berdasarkan Tabel 5 di atas dapat dihitung nilai *CN* rata-rata dan luasan kedap air rata-rata untuk lokasi kegiatan. Nilai *CN* rata-rata (komposit) untuk keseluruhan luasan *catchment area* adalah sebesar $8381,31/93,733 = 89,42$. Adapun persentase luasan kedap air rata-rata adalah sebesar $5674,20/93,733 = 60,54\%$.

Potensi Retensi dan Abstraksi Awal

Potensi retensi maksimum saling berkaitan dengan karakteristik daerah tangkapan hujan melalui parameter *CN*. Berdasarkan nilai *CN* rata-rata yang telah dihitung sebelumnya, yaitu sebesar 89,42, maka potensi retensi maksimum adalah

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN} = \frac{25400 - 254(89,42)}{89,42} = 30,062 \text{ mm}$$

sehingga nilai abstraksi awal dapat dihitung sebagai

$$I_a = 0,2S = 0,2 \times 30,062 = 6,012 \text{ mm}$$

Waktu Konsentrasi dan Waktu Jeda

Waktu konsentrasi (*time of concentration*) didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan oleh partikel air untuk mengalir dari titik terjauh dalam suatu daerah tangkapan hujan sampai kepada titik yang ditinjau yang umumnya adalah titik outlet (Chow, dkk., 1988; May, 2001; Suripin, 2004; Triatmodjo, 2008). Adapun waktu jeda (*lag time/ basin lag*) diartikan sebagai selisih/perbedaan waktu antara pusat massa hujan efektif dan puncak hidrograf satuan. Berdasarkan analisis menggunakan SIG, diperoleh panjang aliran utama adalah 1.152 m atau 3779,53 ft. Nilai potensi retensi maksimum sebesar 30,062 mm (1,184 inch) dan kemiringan lahan rata-rata adalah 4,06%, sehingga waktu konsentrasi dapat dihitung sebagai

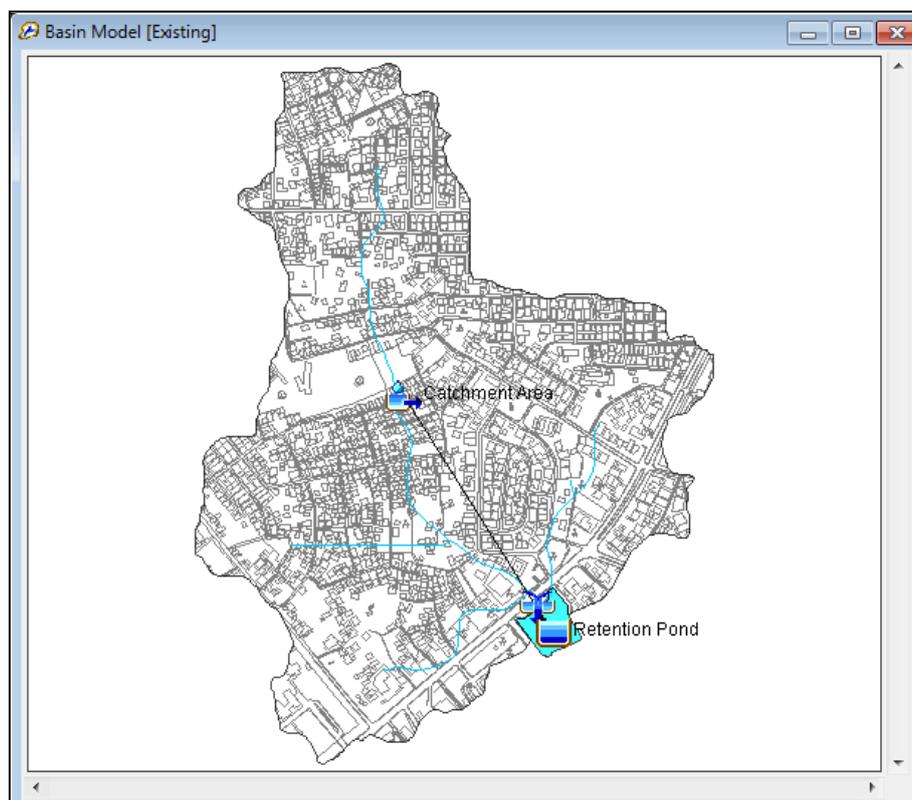
$$t_c = \frac{L^{0,8} (S + 1)^{0,7}}{1140Y^{0,5}} = \frac{3779,53^{0,8} (1,184 + 1)^{0,7}}{1140(4,06)^{0,5}} = 0,547 \text{ jam}$$

dan waktu jeda juga dapat dihitung sebagai

$$t_L = 0,6t_c = 0,6 \times 0,547 = 0,328 \text{ jam}$$

Skema Model HEC-HMS

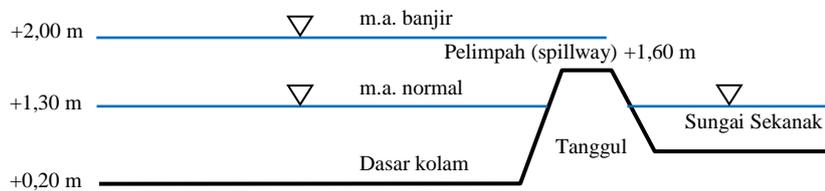
The Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) merupakan perangkat lunak yang dikembangkan oleh *U.S. Army Corps of Engineers* yang ditujukan untuk pemodelan dan simulasi hidrologi



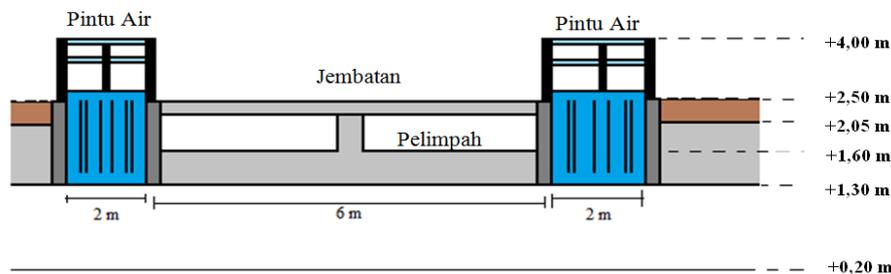
Gambar 10. Skema Sistem Kolam Retensi yang Dimodelkan
Sumber: Hasil analisis

dengan output utamanya adalah hidrograf limpasan (Feldman, 2000; Pistocchi dan Mazzoli, 2002). Skema model dari sistem drainase kolam retensi menggunakan HEC-HMS yang dibangun dalam *basin model* diberikan dalam Gambar 10. Pada Gambar 10 tersebut elemen-elemen hidrologi yang dimodelkan adalah *subbasin* untuk peniruan *catchment area*, *junction* untuk peniruan outlet dari *catchment area*, dan *reservoir* untuk peniruan kolam retensi. Pada peniruan kolam retensi, juga dimodelkan bangunan pelimpah (*spillway*) sebagai outletnya.

Luasan kolam retensi adalah seluas 1,05 Ha. Kolam retensi tersebut dilengkapi dengan outlet berupa pintu air (*sluice gate*) dan bangunan pelimpah. Pada kondisi ini, disimulasikan pintu air dalam keadaan terbuka penuh (*full open*). Elevasi dasar kolam, elevasi muka air normal, dan elevasi muka air maksimal masing-masing adalah +0,20 m, +1,30 m, dan +2,00 m. Adapun elevasi pelimpah pada level +1,60 m dengan lebar total 6 m. Ilustrasi kolam retensi dengan pelimpah tersebut ditunjukkan dalam Gambar 11 - 13. Fungsi tampungan dari kolam retensi direpresentasikan dalam bentuk grafik hubungan antara elevasi terhadap luasan permukaan air di dalam kolam seperti yang diberikan dalam Gambar 14.



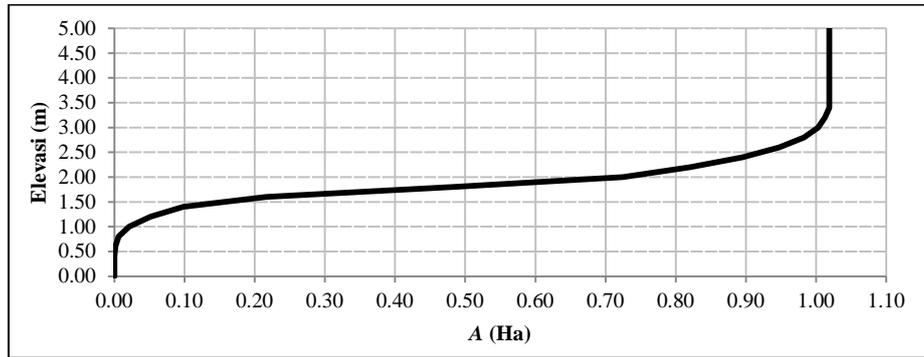
Gambar 11. Ilustrasi Kolam Retensi dengan Pelimpah



Gambar 12. Ilustrasi Penampang Pintu Air dan Pelimpah pada Kolam Retensi



Gambar 13. Bangunan Pelimpah dan Pintu Air pada Kolam Retensi
Sumber: dokumentasi penulis

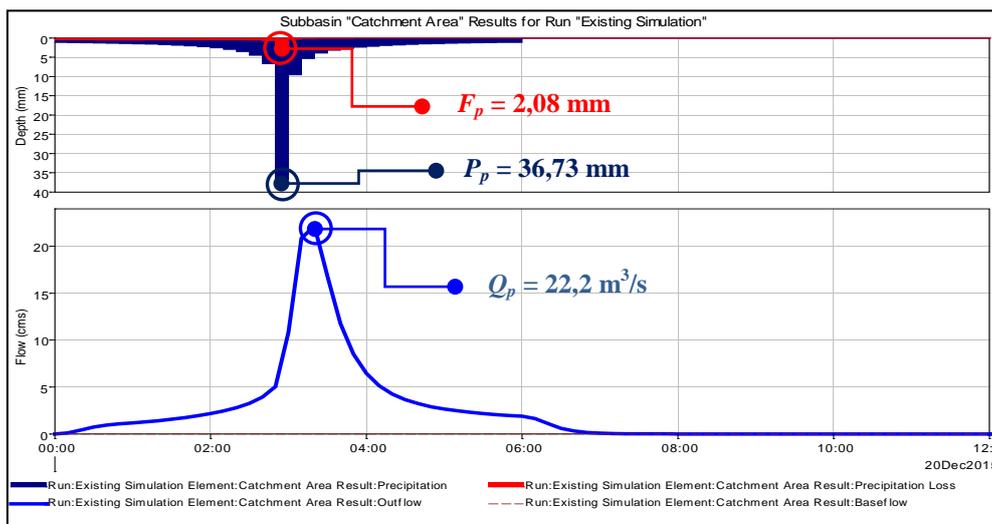


Gambar 14. Fungsi Tampang Kolam (Elevasi Vs Luas Permukaan)
 Sumber: Hasil analisis

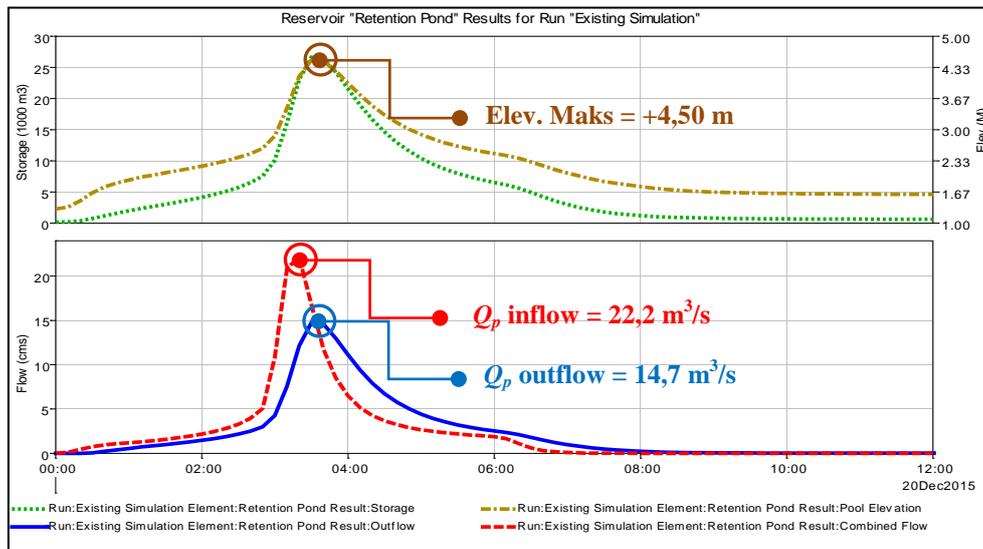
Hidrograf Banjir

Hidrograf merupakan kurva yang memberikan hubungan antara parameter aliran dan waktu (Triatmodjo, 2008). Parameter tersebut bisa berupa kedalaman aliran atau debit, sehingga terdapat dua macam hidrograf yaitu hidrograf muka air (elevasi) dan hidrograf debit (Suripin, 2004; Triatmodjo, 2008). Hidrograf tersusun dari dua komponen, yaitu aliran permukaan yang berasal dari aliran langsung air hujan, dan aliran dasar (*base flow*). Dalam penelitian ini, hidrograf banjir dinyatakan sebagai hidrograf debit, yaitu kurva hubungan antara debit banjir terhadap waktu dan merupakan hidrograf limpasan langsung dari air hujan.

Data dan parameter-parameter yang telah dihitung sebelumnya digunakan sebagai input data ke dalam model HEC-HMS. Perhitungan kehilangan hujan (*precipitation loss*) menggunakan metode SCS-CN, sedangkan hidrograf satuan yang digunakan adalah metode hidrograf satuan sintetik SCS. Hasil simulasi untuk hidrograf limpasan dari daerah tangkapan hujan di lokasi kegiatan secara rinci diberikan pada Gambar 15. Dari hasil simulasi yang ditunjukkan dalam Gambar 15 tersebut, diperoleh bahwa debit limpasan puncak adalah sebesar 22,2 m³/s dengan waktu puncak pada jam ke- 3:20.



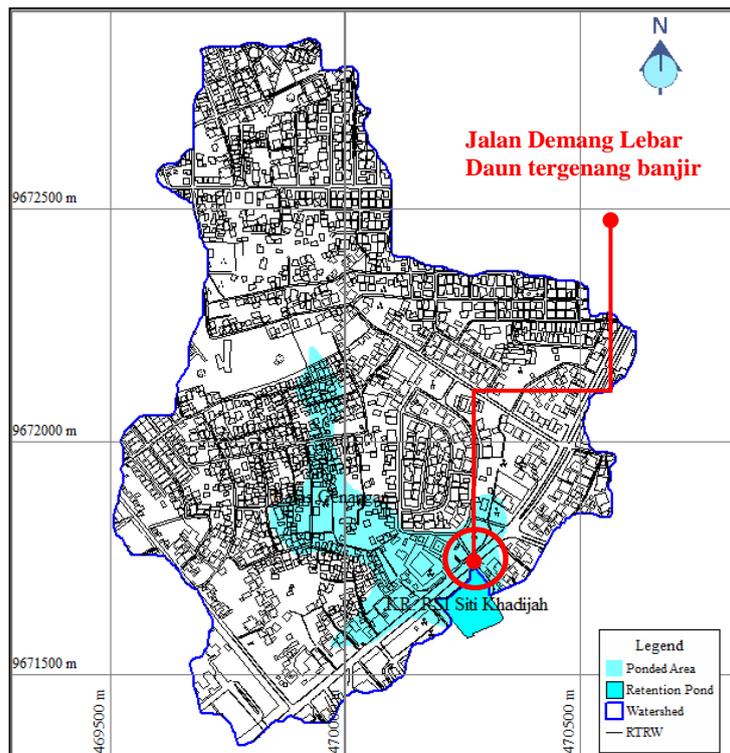
Gambar 15. Hidrograf Limpasan Periode Ulang 5 Tahun
 Sumber: Hasil Analisis



Gambar 16. Hidrograf *Inflow* Dan *Outflow* Kolam Retensi
Sumber: Hasil analisis

Penelusuran Banjir di Kolam

Penelusuran banjir di kolam retensi bertujuan untuk menganalisis perilaku aliran masuk (*inflow*) dan keluran (*outflow*), sehingga dapat diketahui kapasitas dari tampungan kolam tersebut.

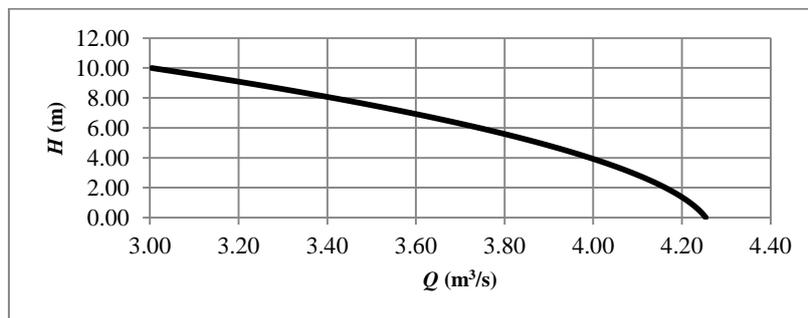


Gambar 17. Luasan Genangan Pada Kondisi Eksisting Hasil Simulasi ($A = 11,09$ Ha)
Sumber: Hasil Analisis

Dengan adanya tampungan tersebut, kolam retensi dapat mereduksi debit puncak dan menunda waktu puncak (Sang, dkk., 2012). Hasil simulasi HEC-HMS untuk penelusuran banjir di kolam retensi diberikan dalam Gambar 16, dimana debit banjir puncak (*inflow*) sebesar $22,2 \text{ m}^3/\text{s}$ direduksi menjadi $14,7 \text{ m}^3/\text{s}$ (*outflow*) karena adanya tampungan kolam dan kapasitas dari bangunan pelimpah. Walaupun demikian, elevasi muka air maksimum kolam adalah $+4,50 \text{ m}$. Level muka air ini melampaui level tanggul kolam retensi sehingga berpotensi meluap dan menggenangi kawasan sekitar kolam. Visualisasi daerah sekitar kolam yang tergenangi akibat luapan air diberikan dalam Gambar 17, dimana luasan genangan adalah sekitar $11,09 \text{ Ha}$.

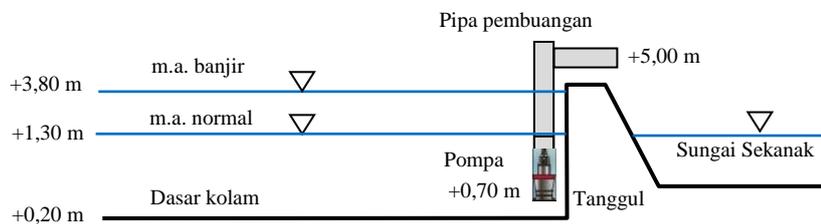
Perencanaan Pompa Banjir

Perencanaan pompa banjir diperlukan untuk mengatur elevasi muka air di dalam kolam retensi agar tidak meluap. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan sulit untuk dilakukan perluasan kolam, karena tidak tersedianya lahan (lahan yang terbatas). Pompa yang direncanakan adalah pompa yang ideal untuk pengendalian banjir, yaitu pompa aksial yang memiliki kapasitas debit yang besar namun dengan tinggi tekanan (*head*) yang relatif kecil (Suripin, 2004). Pompa air tersebut direncanakan *submersible* (tergenang air) dengan elevasi *intake* pada level $+0,50 \text{ m}$ dengan jumlah pompa sebanyak 2 unit. Pompa direncanakan beroperasi pada level $+2,3 \text{ m}$ dan berhenti pada level $+1,3 \text{ m}$. Adapun kurva pompa yang direncanakan seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 18, sedangkan ilustrasi kolam dengan pompa diberikan dalam Gambar 19. Hidrograf *inflow* dan *outflow* kolam retensi dengan setelah perencanaan pompa banjir diberikan pada Gambar 20.



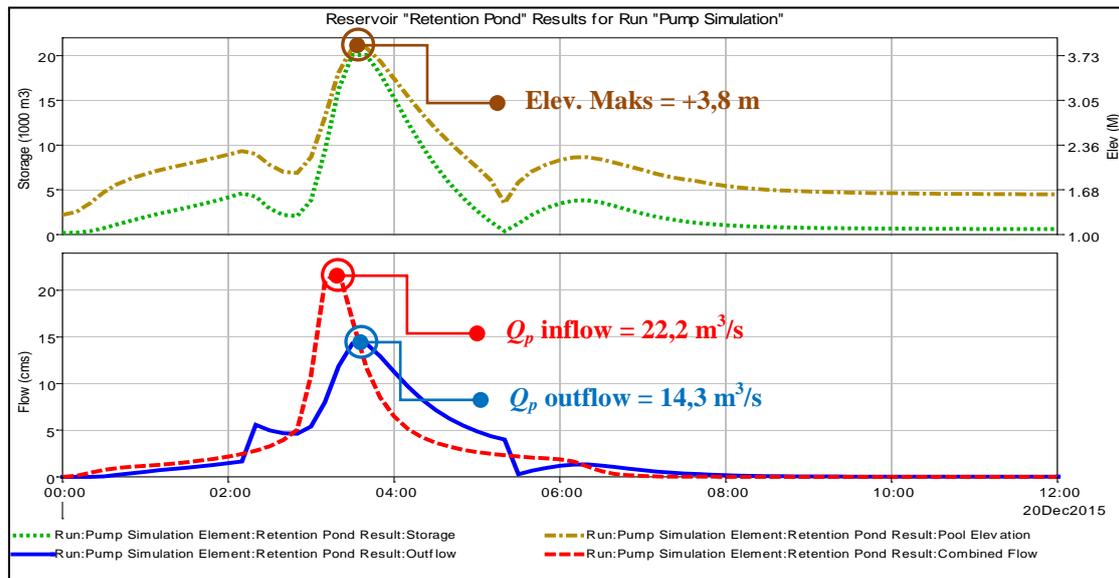
Gambar 18. Kurva Pompa Rencana

Sumber: Hasil analisis



Gambar 19. Ilustrasi Kolam Retensi dengan Pompa Banjir

Berdasarkan Gambar 20 tersebut, terlihat bahwa debit banjir (*inflow*) sebesar $22,22 \text{ m}^3/\text{s}$ direduksi menjadi $14,3 \text{ m}^3/\text{s}$ (*outflow*). Elevasi muka air maksimal adalah $+3,80 \text{ m}$. Pada kondisi ini, level muka air tidak melampaui level tanggul kolam. Walaupun demikian, level muka air tersebut dapat menyebabkan aliran balik (*backwater flow*) terhadap saluran drainase inlet, sehingga masih memungkinkan terjadi banjir khususnya daerah-daerah yang lebih rendah.



Gambar 20. Hidrograf *Inflow* dan *Outflow* Kolam Retensi dengan Sistem Pompanisasi
Sumber: Hasil analisis

Perencanaan Ruang Terbuka Hijau (RTH)

Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 (UU 26/2007) Tentang Penataan Ruang mensyaratkan ruang terbuka hijau (RTH) pada wilayah kota paling sedikit 30 persen dari luas wilayah kota. Hal ini membawa konsekuensi setiap lahan yang ditempati, idealnya minimal sebesar 70 persen digunakan untuk bangunan dan 30 persen untuk lahan hijau. Dalam penelitian ini, perencanaan RTH ditujukan khususnya untuk pekarangan rumah. Hal ini dilakukan mengingat luasan pemukiman yang sangat dominan yaitu 75,96 Ha atau sebesar 81,04% dari luasan total, sedangkan ruang terbuka hijau hanya sebesar 6,58 Ha (7,02%). Proporsi dari RTH terhadap pemukiman direncanakan 21,54 Ha, sedangkan luasan total pemukiman (kedap) berkurang menjadi 54,42 Ha. Artinya, dalam tiap luasan pekarangan rumah disediakan sekitar 28% untuk ruang terbuka hijau. Dengan demikian, rincian dari jenis penggunaan lahan di lokasi penelitian menjadi seperti yang diberikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Jenis Penggunaan Lahan dengan Rencana Penambahan RTH

No.	Jenis Penggunaan Lahan	A (Ha)	A (%)	CN	A x CN	% Imperv	A x % Imperv
1	Jalan	2,734	2,917	92	251,52	100	273,39
2	Sarana kesehatan	1,427	1,523	94	134,17	85	121,32
3	Sarana pendidikan	1,867	1,992	94	175,50	50	93,35
4	Pemukiman	54,417	58,056	90	4897,55	65	3537,12
5	Ruang Terbuka Hijau Eksisting	6,581	7,021	79	519,89	5	32,90
6	Ruang Terbuka Hijau Rencana	21,540	22,980	79	1701,66	5	107,70
7	Tanah kosong/Ruang Terbuka	2,490	2,657	86	214,15	2	4,98
8	Sarana komersial	0,549	0,586	94	51,63	85	46,68
9	Sarana tempat ibadah	0,702	0,749	94	66,02	85	59,70
10	Sarana perkantoran	0,974	1,040	94	91,60	85	82,83
11	Tubuh Air/Waduk/Danau	0,001	0,001	100	0,08	0	0,00
12	Sarana olahraga	0,245	0,261	94	23,03	85	20,83
13	Kuburan	0,205	0,218	86	17,61	5	1,02
Jumlah		93,733	100,000		8144,40		4381,82

Sumber: Hasil analisis

Berdasarkan Tabel 6 di atas dapat dihitung nilai CN rata-rata dan luasan kedap air rata-rata dengan rencana penambahan RTH. Nilai CN rata-rata (komposit) untuk keseluruhan luasan *catchment area* adalah sebesar $8144,40/93,733 = 86,89$. Adapun persentase luasan kedap air rata-rata adalah sebesar $4381,82/93,733 = 46,75\%$. Berdasarkan nilai CN rata-rata yang telah dihitung tersebut, yaitu sebesar 86,89, maka potensi retensi maksimum menjadi

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN} = \frac{25400 - 254(86,89)}{86,89} = 38,326 \text{ mm}$$

Nilai potensi retensi maksimum diperoleh sebesar 38.326 mm atau 1,509 inchi. Adapun nilai abstraksi awal dapat dihitung sebagai

$$I_a = 0,2S = 0,2 \times 38,326 = 7,665 \text{ mm}$$

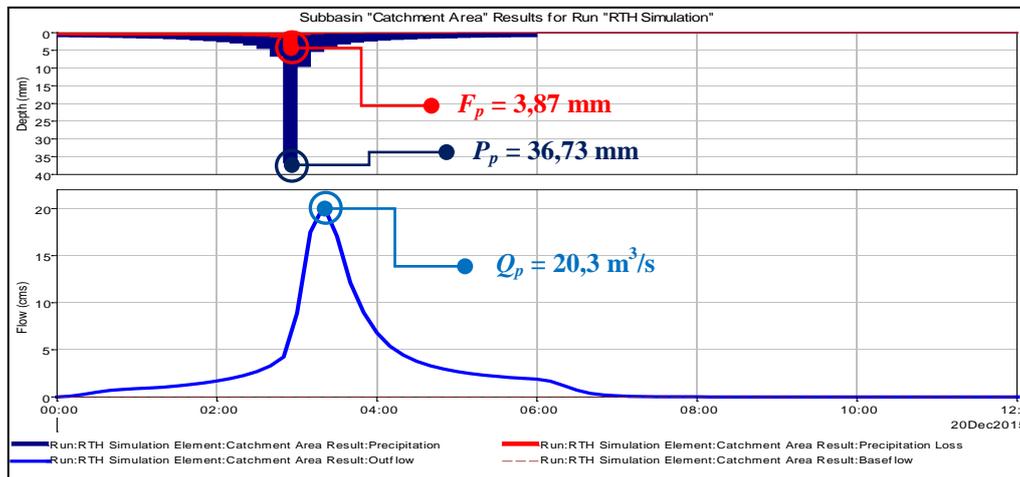
Waktu konsentrasi dan jeda juga dapat dihitung menjadi

$$t_c = \frac{L^{0,8}(S+1)^{0,7}}{1140Y^{0,5}} = \frac{3779,53^{0,8}(1,509+1)^{0,7}}{1140(4,06)^{0,5}} = 0,603 \text{ jam}$$

dan waktu jeda juga dapat dihitung sebagai

$$t_L = 0,6t_c = 0,6 \times 0,603 = 0,362 \text{ jam}$$

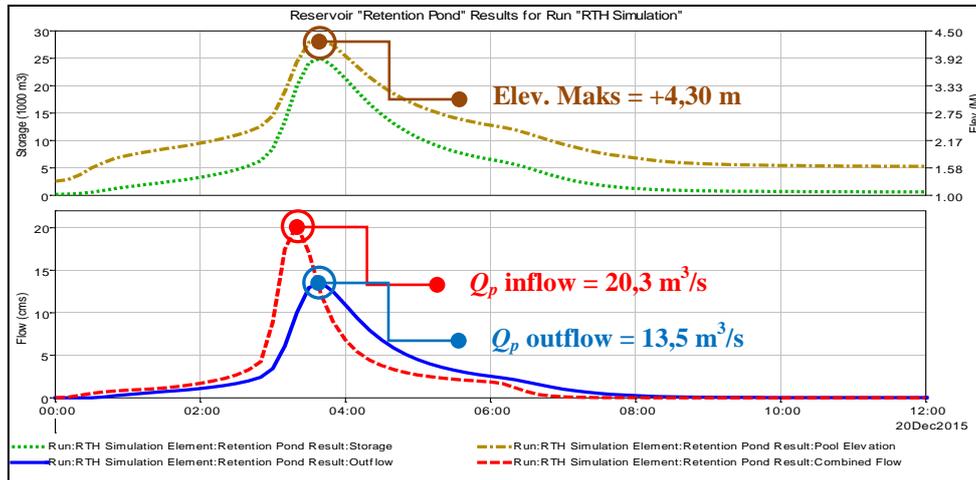
Hasil simulasi HEC-HMS menggunakan parameter perencanaan RTH minimal sebesar 30% dalam *catchment area* diberikan pada Gambar 21 di bawah ini.



Gambar 21. Hidrograf Limpasan Setelah Perencanaan RTH
Sumber: Hasil analisis

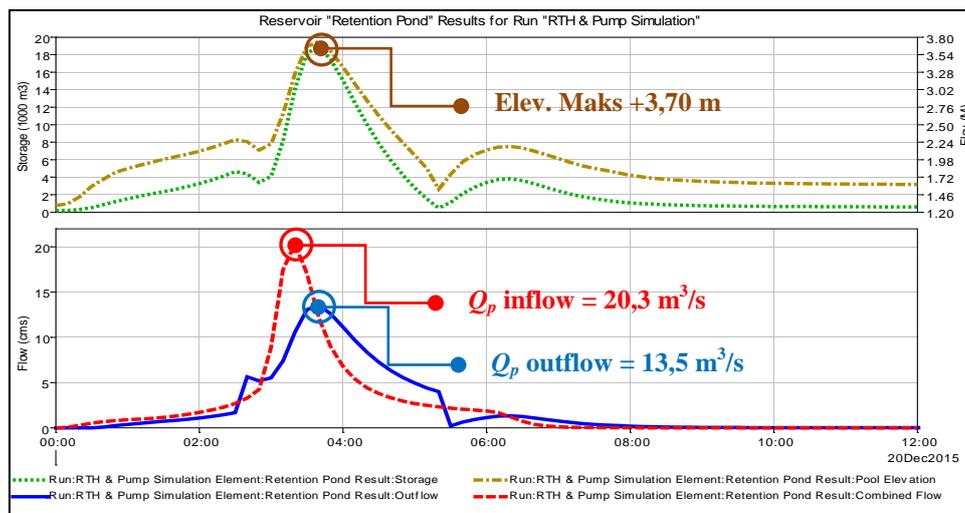
Pada Gambar 21 di atas terlihat bahwa perencanaan RTH sebesar 30% mampu menurunkan puncak banjir dari $22,2 \text{ m}^3/\text{s}$ menjadi $20,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Dengan kata lain, dengan penambahan RTH tersebut mampu mengurangi beban limpasan yang akan masuk ke dalam sistem drainase yang disebabkan karena sebagian air hujan akan lebih banyak terinfiltrasi masuk ke dalam tanah. Hal

ini ditunjukkan oleh nilai kehilangan hujan pada saat puncak hujan yang meningkat menjadi 3,87 mm daripada kondisi eksisting sebesar 2,08 mm, sehingga menyebabkan hujan efektif pada waktu tersebut berkurang dari 34,65 mm menjadi 32,86 mm. Pertambahan kehilangan hujan yang diiringi dengan pengurangan hujan efektif juga terjadi untuk waktu-waktu lainnya di sepanjang durasi hujan.



Gambar 22. Hidrograf Inflow dan Outflow Kolam Retensi Setelah Perencanaan RTH
Sumber: Hasil analisis

Hasil penelusuran banjir di kolam retensi setelah perencanaan RTH diberikan dalam Gambar 22. Pada gambar tersebut, terlihat bahwa debit banjir puncak sebesar 20,3 m³/s direduksi menjadi 13,5 m³/s. Adapun elevasi muka air maksimum menurun dari sebelumnya +4,50 m menjadi +4,30 m. Walaupun demikian, level muka air ini masih akan berpotensi untuk menggenangi kawasan sekitar kolam. Pada perencanaan selanjutnya, dilakukan simulasi sistem drainase dengan kombinasi perencanaan RTH dan sistem pompanisasi pada kolam retensi, sehingga dapat diperoleh hasil yang optimal.



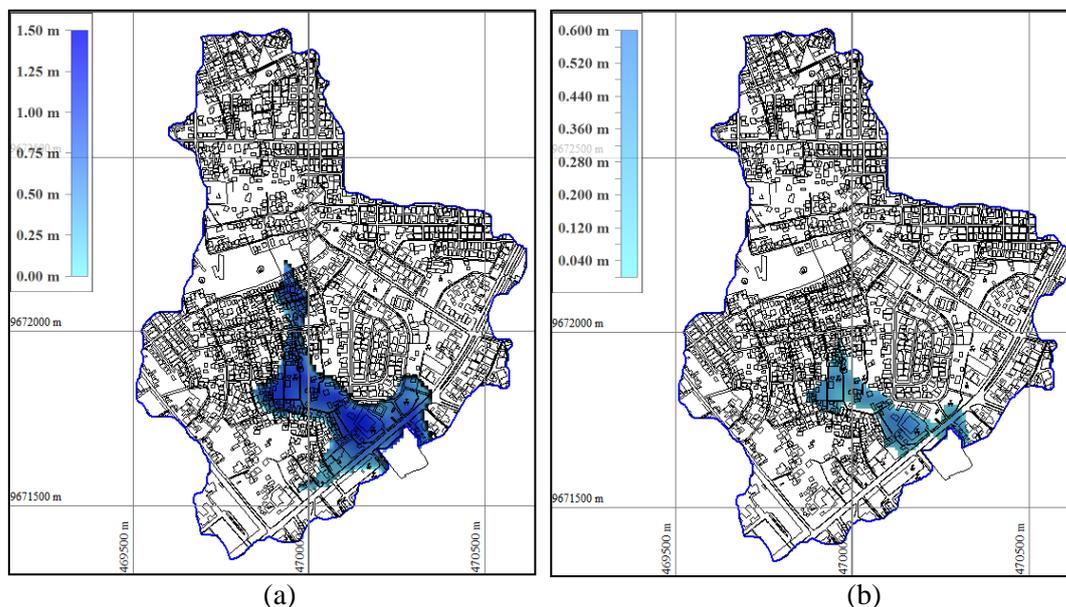
Gambar 23. Hidrograf *Inflow* dan *Outflow* Setelah Perencanaan RTH dan Pompa Banjir
Sumber: Hasil analisis

Perencanaan RTH dan Pompa Banjir

Penelusuran banjir di kolam retensi setelah perencanaan RTH dan pompa banjir diberikan pada Gambar 23. Pada Gambar 23 tersebut, terlihat bahwa debit puncak banjir berkurang dari 20,3 m³/s menjadi 13,5 m³/s. Adapun elevasi muka air maksimum di kolam adalah pada level +3,70 m. Pada level ini, potensi genangan adalah 2,67 Ha, yaitu berkurang sebesar 75,92% dari luasan genangan sebelumnya yaitu 11,09 Ha seperti yang diberikan dalam Gambar 24 dan 25. Adapun lama genangan adalah sekitar 20 menit, yaitu pada jam 3:30 – 3:50.

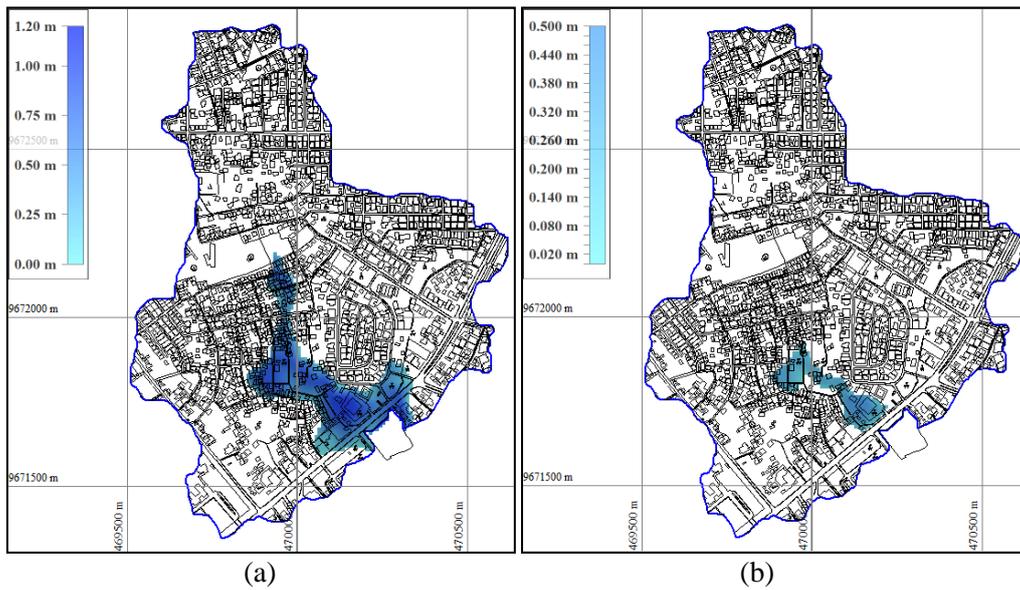
Karakteristik Genangan Banjir

Visualisasi karakteristik genangan banjir, yaitu luasan dan kedalaman genangan untuk setiap skenario pengendalian banjir diberikan pada Gambar 24 dan 25. Pada Gambar 24a terlihat bahwa pada kondisi eksisting, luasan genangan banjir mencapai 11,09 Ha dengan kedalaman genangan maksimum 1,285 m. Pada Gambar 24b juga terlihat masih terdapat potensi genangan di hulu kolam karena daerah tersebut memiliki elevasi yang lebih rendah. Luas daerah yang berpotensi tergenang berkurang menjadi 4,57 Ha dengan kedalaman genangan maksimum adalah 0,587 m. Pengurangan luasan genangan banjir tersebut adalah sebesar 58,79% atau hampir 60%. Skenario peningkatan RTH minimal sebesar 30% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 25a hanya mampu mengurangi luasan genangan banjir menjadi 9,39 Ha atau berkurang sebesar 15,33% dari luasan genangan sebelumnya (kondisi eksisting) yaitu 11,09 Ha. Kedalaman genangan maksimum berkurang menjadi 1,085 m. Berbeda halnya dengan skenario kombinasi penggunaan pompa banjir dan peningkatan RTH seperti yang ditunjukkan Gambar 25b, dimana potensi luasan genangan banjir berkurang secara signifikan menjadi 2,67 Ha atau berkurang sebesar 75,92% dari luasan genangan eksisting dengan kedalaman maksimum 0,487 m. Pada kondisi tersebut, Jalan Demang Lebar Daun tidak lagi mengalami genangan banjir.



Gambar 24. Kedalaman Genangan Banjir (a) Kondisi Eksisting ($A = 11,09$ Ha, $H_{maks} = 1,285$ M), (b) Setelah Perencanaan Pompa ($A = 4,57$ Ha, $H_{maks} = 0,587$ M)

Sumber: Hasil analisis



Gambar 25. Kedalaman Genangan Banjir (a) Setelah Perencanaan RTH ($A = 9,39$ Ha, $H_{maks} = 1,085$ M), (b) Setelah Perencanaan RTH Dan Pompa ($A = 2,67$ Ha, $H_{maks} = 0,487$ M)
Sumber: Hasil analisis

Efektivitas Pengendalian Banjir

Berdasarkan simulasi dan analisis di atas, maka dapat diamati efektivitas dari metode pengendalian banjir seperti yang diberikan pada Tabel 7. Dari tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa pengendalian banjir menggunakan pompa banjir lebih efektif dibandingkan dengan perencanaan RTH. Walaupun demikian, kombinasi dari penggunaan pompa dan RTH memberikan hasil yang sangat baik dalam mereduksi genangan banjir sebesar 75,92% dan debit puncak banjir sebesar 33,50%. Penyediaan RTH tersebut dapat memberikan manfaat lain disamping sebagai penahan banjir, yaitu untuk rekreasi, menciptakan iklim mikro, estetika, konservasi air tanah, dan sebagainya. Pembangunan stasiun pompa banjir dapat dilakukan untuk jangka pendek, sedangkan penyediaan RTH di pemukiman dapat dilakukan untuk jangka panjang yang dilaksanakan secara bertahap melalui sosialisasi kepada masyarakat dan pembentukan peraturan daerah (Perda).

Tabel 7. Efektivitas Rencana Pengendalian Banjir

Kondisi Sistem	Metode Pengendalian Banjir	Luasan Genangan (Ha)	Reduksi Genangan (%)	Inflow (m^3/s)	Outflow (m^3/s)	Reduksi Q_p (%)	Elevasi m.a. maks. (m)	h_{maks} (m)
Eksisting	Kolam retensi dengan pelimpah	11,09	0,00	22,2	14,7	33,78	+4,50	1,285
Rencana 1	Kolam retensi dengan pelimpah dan pompa banjir	4,57	58,79	22,2	14,3	35,59	+3,80	0,587
Rencana 2	Kolam retensi dengan pelimpah, penambahan RTH	9,39	15,33	20,3	13,5	33,50	+4,30	1,085
Rencana 3	Kolam retensi dengan pelimpah dan pompa banjir, penambahan RTH	2,67	75,92	20,3	13,5	33,50	+3,70	0,487

Sumber: Hasil analisis

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Banjir di kawasan sekitar kolam retensi Siti Khadijah disebabkan oleh kapasitas kolam retensi yang tidak mencukupi, pintu air yang tidak berfungsi dengan baik, dan tidak tersedianya pompa banjir.
2. Hasil simulasi banjir menunjukkan bahwa pada kondisi eksisting elevasi muka air maksimum di dalam kolam adalah +4,50 m yang berpotensi menggenangi kawasan sekitarnya dengan total luasan sebesar 11,09 Ha dan kedalaman maksimum 1,285 m.
3. Penggunaan pompa banjir dengan kapasitas total 4 m³/s dapat mengurangi total luasan genangan menjadi 4,57 Ha, yaitu 58,79% dari luasan genangan eksisting. Kedalaman genangan maksimum berkurang menjadi 0,587 m.
4. Penyediaan RTH sebesar 30% dapat menurunkan debit banjir puncak menjadi 20,3 m³/s, dimana luasan genangan berkurang sebesar 15,33% menjadi 9,39 Ha dengan kedalaman genangan maksimum 1,085 m.
5. Pengendalian banjir dengan kombinasi pompa banjir dan penyediaan RTH secara efektif mampu mereduksi luasan genangan sebesar 75,92% menjadi 2,67 Ha dengan kedalaman genangan maksimum 0,487 m dan lama genangan hanya 20 menit.
6. Untuk mitigasi banjir jangka pendek diperlukan pembangunan stasiun pompa banjir di kolam retensi Siti Khadijah, sedangkan untuk jangka panjang diperlukan penyediaan RTH yang dilakukan secara bertahap dan berkelanjutan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian Universitas Sriwijaya yang telah mendanai penelitian ini melalui Hibah Penelitian BOPTN Tahun 2015 dan juga kepada Dwi Fadhil Yanto dan Marcelina yang telah membantu dalam pengumpulan data primer.

Daftar Pustaka

- Apirumanekul, C., dan Mark, O. (2001) *Modelling orf Urban Flooding in Dhaka City*. 4th DHI Software Conference.
- Chow, dkk. (1988) *Applied Hydrology*. USA: McGraw-Hill, Inc.
- Day, C.A., dan Bremer, K.A. (2013) *Modeling Urban Hydrology: A Comparison of New Urbanist and Traditional Neighborhood Design Surface Runoff*. International Journal of Geosciences, 4(5) 891-897. <http://dx.doi.org/10.4236/ijg.2013.45083>.
- Di Baldassarre, G. (2012) *Floods in a Changing Climate: Inundation Modeling*. New York: Cambridge University Press.
- Feldman, A.D. (2000) *Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Technical Reference Manual*. Washington DC: U.S. Army Corps of Engineers.
- Huong, H.T.L., dan Pathirana, A. (2013) *Urbanization and Climate Change Impacts on Future Urban Flooding in Cao Tho City, Vietnam*. Hydrol. Earth Syst. Sci, 17, 379–394. doi:10.5194/hess-17-379-2013.
- Kodoatie, R.J. (2013) *Rekayasa dan Manajemen Banjir Kota*. Yogyakarta: Penerbit ANDI Offset.
- Lubis, W., Sagala, S., Wimbardana, R., dan Argo, T.A. (2015) *Assessing Household Risk Mitigation to Flooding in Lowland Area of Palembang*, RDI Working Paper, 1. Diperoleh dari <http://www.alnap.org/pool/files/household-risk-mitigation-flooding-palembang.pdf> pada tanggal 13 Juni 2016.

- Mays, L.W. (2001) *Water Resources Engineering*. New York: John Wiley and Sons.
- NRCS (1986) *Urban Hydrology for Small Watershed: TR-55*. The U.S. Department of Agriculture (USDA).
- Pistocchi, A., dan Mazzoli, P (2002) *Use of HEC-RAS and HEC-HMS Models with ArcView for Hydrologic Risk Management*. Proceeding of International Environmental Modelling and Software Society.
- Republik Indonesia (2007) *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang*. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2007 Nomor 68. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Republik Indonesia (2014) *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 12/PRT/M/2014 Tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan*. Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 1451. Kementerian Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Sang, G. (2012) *Research on Urban Storm Flood Processes under Two Measures: Detention Pond and Retention Pond*. *Applied Mechanics and Materials*.166-169 (2012), 2643-2648. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.166-169.2643.
- Suripin (2004) *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Penerbit ANDI Offset.
- Triatmodjo, B. (2008) *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Penerbit Beta Offset.