

ANALISIS SIMULASI SWMM UNTUK PENGELOLAAN BANJIR DENGAN PEMODELAN KOLAM RETENSI: STUDI KASUS JANGLI-TEMBALANG, KOTA SEMARANG

Benson Limbong^{1*}, Susilowati²

^{1,2)} Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

^{*}email: bensonlimbong@alumni.undip.ac.id

Diterima : 30 Januari 2024
Direvisi : 18 April 2024

Disetujui : 18 April 2024
Diterbitkan : 31 Mei 2024

Abstract: Land cover conversions for infrastructure needs cause a reduction in urban open space for groundwater recharges and increasing in surface runoff. After the Jangli-Tembalang alternative road was built, flooding occurred due to stormwater from the road could not be streamed through the existing drainage capacity and inundated existing housing nearby. The objectives of this research are: to simulate the rainfall-runoff Storm Water Management Model (SWMM), to determine flood discharge and the total stormwater volume of flooding in existing drainage without retention ponds, to determine the dimensions of retention ponds as flood prevention, and to determine the reliability of retention ponds reducing flood discharge. Retention pond storage volume is defined by calculating the difference between inflow/incoming discharge multiplied by the time duration to the outflow/outcoming discharge in a channel within a certain time duration. Results from the modeling analysis are: the position of the flood in the model conforms to the flood position in the original event at node 'J2' - Channel 'Conduit 2', flood discharge Q at node 'J2': 0.445 m³/second, the flood: 59.4 minutes and total stormwater volume: 805 m³. In the 'Conduit 2' channel, peak discharge Q was obtained: 0.726 m³/sec with maximum velocity: 2.27 m/sec. To prevent flooding, a retention pond was modeled at the position between node J2 and Conduit 2 channel, dimensions: (40x20x1.1) m³. Simulation results with retention ponds show peak Q in the retention pond: 0.24 m³/second, maximum volume of water in the retention pond: 712.61 m³ (smaller than the total capacity of the pond volume of 880 m³) and maximum depth of water in the pond 0.98m (smaller than the total depth of the pool of 1.1 m) which indicates that there is no overflow of water in the retention pool, the retention pool has been proven to be able to prevent flooding.

Keywords : retention pond, flood, drainage, SWMM model.

Abstrak: Perubahan tutupan lahan untuk kebutuhan infrastruktur menyebabkan berkurangnya ruang terbuka hijau sebagai resapan air dan meningkatnya debit limpasan permukaan. Setelah jalan alternatif Jangli-Tembalang dibangun, terjadi banjir yang diakibatkan debit limpasan permukaan jalan tidak dapat ditampung oleh kapasitas drainase yang ada dan menggenangi kawasan perumahan di dekatnya. Tujuan penelitian ini adalah: melakukan simulasi Storm Water Management Model (SWMM) untuk hujan - limpasan permukaan, menentukan debit banjir dan total volume drainase perumahan dengan kondisi eksisting tanpa kolam retensi, menentukan dimensi kolam retensi sebagai pencegah banjir di perumahan dan mengetahui keandalan kolam retensi terhadap debit banjir yang terjadi. Penentuan volume tampungan kolam retensi diperhitungkan dengan menghitung selisih inflow/ debit masuk dikalikan terhadap durasi waktu dikurangi outflow/ debit keluar saluran dalam suatu durasi waktu. Dari pemodelan simulasi hujan-limpasan permukaan diperoleh hasil: posisi banjir di model sudah sesuai dengan posisi banjir di kejadian asli yaitu pada posisi antara node 'J2' dan Saluran 'Conduit 2', debit banjir masuk node J2: 0,445 m³/detik, durasi banjir terjadi selama 59,4 menit dengan volume total banjir: 805 m³. Pada saluran 'Conduit 2' diperoleh debit puncak Q : 0,726 m³/detik dan kecepatan aliran maksimum: 2,27 m/detik. Untuk mencegah banjir tersebut dilakukan pemodelan kolam retensi dengan dimensi: (40x20x1,1) m³ pada posisi antara node J2 dan saluran Conduit 2. Hasil simulasi dengan kolam retensi menunjukkan Q puncak outflow pada pintu air kolam retensi: 0,9426 m³/detik, volume maksimum air dalam kolam retensi: 712,61 m³ (lebih kecil dari kapasitas total volume kolam 880 m³) dan kedalaman maksimal air di kolam 0,98 m (lebih kecil dari kedalaman total kolam 1,1 m), yang menandakan bahwa tidak terjadi luapan air pada kolam retensi, kolam retensi terbukti dapat mencegah terjadinya banjir.

Kata kunci : kolam retensi, banjir, drainase, model SWMM.

1. PENDAHULUAN

Kecamatan Tembalang Kota Semarang merupakan salah satu kecamatan paling berkembang dan memiliki kepadatan penduduk terbesar di Kota Semarang. Terdapatnya kawasan budidaya berupa pemukiman, pusat pendidikan (universitas dan politeknik), pusat niaga menyebabkan peningkatan penduduk yang pesat di wilayah ini. Peningkatan penduduk menyebabkan peningkatan kebutuhan akses penghubung berupa jalan raya agar memudahkan pergerakan masyarakat dalam beraktifitas. Salah satu jalan yang baru dibangun di wilayah ini adalah jalan alternatif yang menghubungkan antara Kelurahan Jangli dan Kelurahan Tembalang. Jalan ini menjadi alternatif bagi masyarakat yang akan bepergian dari dan ke wilayah Kota Semarang atas dan bawah. Jalan ini juga menjadi alternatif untuk menghindari kemacetan yang sering terjadi di jalan eksisting seperti Jalan Gombel Lama/ Gombel Baru dan Jalan Setiabudi.

Husseina dkk [1] dan USGS [2] menyatakan bahwa perubahan tutupan lahan untuk kebutuhan infrastruktur menyebabkan berkurangnya ruang terbuka hijau yang berfungsi sebagai resapan air dan meningkatnya debit limpasan permukaan (*surface run off*). Dampak dari peningkatan limpasan permukaan adalah banjir yang merugikan masyarakat dan lingkungan.

Selama proses konstruksi dan uji coba jalan alternatif Jangli-Tembalang ini, telah terjadi kejadian banjir pada Januari - Februari 2023 yang diakibatkan limpasan dari drainase jalan ini masuk ke dalam drainase eksisting perumahan. Drainase perumahan yang ada tidak mampu menampung volume limpasan air sehingga terjadi genangan banjir yang menimpa rumah warga di Perumahan Pondok Jangli Indah, yang termuat dalam berita online [3]. Meski oleh pihak pelaksana proyek telah dilakukan pekerjaan pembuatan gorong-gorong dan kolam tampungan retensi awal namun gorong-gorong yang dipasang di jalan alternatif tidak mampu melewati debit limpasan air tersebut menuju *outlet* drainase perumahan (**Gambar 2**).

Suripin dkk menyebutkan [4] paradigma pengendalian banjir konvensional dengan membuang air banjir secepat mungkin sudah tidak dapat lagi selalu diterapkan di daerah perkotaan. Banjir sebaiknya dikelola agar tidak memicu bencana lainnya. Air banjir dapat disimpan, baik dalam kolam penyimpanan maupun terinfiltrasi ke dalam tanah. Metode penyimpanan air permukaan di perkotaan dapat dilakukan dengan membangun waduk atau kolam kecil atau yang disebut sebagai kolam retensi yang dapat menahan debit banjir dan menambah waktu konsentrasi banjir.

Salah satu metode yang dapat diterapkan mengatasi banjir secara struktural adalah kolam retensi.

Kolam retensi bertujuan untuk menyimpan sementara debit sungai sehingga puncak banjir dapat dikurangi, dan mencegah terjadinya genangan akibat kelebihan volume air / menahan limpasan permukaan dari drainase jalan sebelum disalurkan ke dalam drainase eksisting di dalam perumahan [5].

Opsi memperbesar profil saluran eksisting di perumahan Jangli Indah sulit dilakukan karena: membutuhkan waktu yang lama akibat panjang saluran tertutup juga mencapai 95m, membutuhkan waktu lebih lama untuk pembongkaran drainase lama dan pemasangan drainase baru.

Penelitian ini menggunakan model program SWMM untuk membantu melakukan analisa perhitungan hidrologi terhadap tangkapan air dan hidrolika terhadap keandalan saluran air dalam menyalurkan limpasan permukaan yang terjadi. Model SWMM merupakan model pengelolaan air banjir produksi EPA yang banyak digunakan untuk perencanaan, penelitian, dan desain untuk pengelolaan air hujan. Analisa yang dilakukan pada aspek hidrologi (perhitungan debit puncak banjir) dan hidrolika (perhitungan kapasitas saluran eksisting terhadap debit puncak banjir yang terjadi), penanganan kondisi banjir dengan kolam retensi banjir untuk menurunkan hidrograf banjir yang terjadi.

Pada **Gambar 1** ditampilkan gambar foto udara dan batas daerah tangkapan air Jalan Alternatif Jangli seluas 142 Ha, dan pada **Gambar 2** ditampilkan detail jaringan drainase dan lokasi banjir aktual di Perumahan Jangli Indah. Terlihat *outlet* pada sisi utara merupakan hilir dari drainase eksisting yang terdapat pada Perumahan Jangli Indah.



Gambar 1. Catchment area dan titik outlet drainase jalan alternatif Jangli-Tembalang (sumber: Google Earth 2023)



Gambar 2. Detail drainase dekat kejadian banjir

Berdasarkan kondisi aktual lapangan, lokasi genangan air / banjir merupakan daerah di antara *box culvert* berukuran $(1,2 \times 1,2) \text{ m}^2$ dan drainase eksisting perumahan berupa pipa buis beton $\varnothing 0,8 \text{ m}$. Saat ini kondisinya daerah tersebut hanya berupa galian tanah tanpa ada struktur apapun sebagai penahan debit air limpasan.

Maka pada lokasi genangan inilah nantinya akan direncanakan model kolam retensi yang akan menahan debit banjir limpasan permukaan jalan sebelum dialirkan ke dalam drainase eksisting perumahan dan berakhir menuju *outlet* drainase perumahan di sisi utara. Housseinzadeh dkk [6] menyebutkan bahwa penentuan lokasi kolam retensi juga memerlukan pertimbangan multi kriteria seperti biaya konstruksi dan dampak ekonomi dari banjir.

McCueen [7] menyatakan bahwa penentuan batas DAS merupakan hal yang sangat penting karena mempengaruhi luasan tangkapan air dan menentukan volume dan debit limpasan yang terjadi. Penentuan batas DAS dilakukan dengan mengidentifikasi seluruh titik di dalam area yang mengalami hujan dan melimpas mengalir ke satu outlet yang sama, dengan garis batas DAS berupa tarikan garis tegak lurus terhadap garis-garis peta kontur area tersebut. Proses penentuan basin/DAS/ watershed dapat dilakukan dengan bantuan *software* HEC HMS, dengan mengolah peta digital sedemikian rupa sehingga terbentuk batas-atas DAS berupa bentangan topografi dengan *outlet* berupa titik ujung dari semua aliran yang terjadi di dalamnya. Proses deliniasi/ pembentukan batas-batas DAS dapat dilakukan di dalam HEC HMS yang telah memiliki fitur GIS [8].

Salah satu metode pendugaan besar limpasan permukaan adalah metode SCS Curve Number. Metode SCS CN adalah metode penentuan limpasan permukaan (debit limpasan) akibat hujan (*rainfall*) dengan menggunakan parameter *Curve Number*, yaitu berupa hubungan antara jenis tutupan lahan, klasifikasi tanah berdasarkan *hydrology soil group* (HSG), dan curah hujan [9]. Nilai *curve number* (CN) berkisar antara 35 hingga 100. Curve number 35 mewakili wilayah yang

memiliki kemampuan infiltrasi yang cukup tinggi, sedangkan Curve Number 100 menunjukkan bahwa curah hujan yang jatuh seluruhnya menjadi limpasan permukaan (*direct run off*).

SWMM (*Storm Water Management Model*) adalah sebuah model komputer produksi US-EPA yang dapat digunakan untuk mensimulasikan hujan-limpasan permukaan (*rainfall-runoff simulation*) untuk satu atau banyak kejadian hujan dalam wilayah perkotaan. Pada model ini, satu atau beberapa *sub catchment* akan menerima hujan dan selanjutnya model dapat menghitung debit limpasan permukaan yang terjadi, sesuai karakteristik wilayah *sub catchment* [10].

Routing atau penelusuran aliran limpasan air hujan pada model ini melalui komponen fisik berupa sistem jaringan pipa, saluran terbuka, saluran tertutup, penyimpanan (*storage*) dan pompa. Model SWMM dapat menghitung kuantitas dan kualitas air limpasan permukaan dalam *sub catchment*, kedalaman aliran, kecepatan aliran, dalam sistem jaringan pipa maupun saluran terbuka

Birkinshaw dkk [11] mendefinisikan kolam retensi pada sistem drainase jalan dapat diartikan sebagai bak atau kolam bagian dari sistem drainase yang dapat menampung /meresapkan air, biasanya dibangun melintang pada badan sungai maupun posisi lembah sungai yang aliran *outlet*nya juga searah dengan aliran sungai. Air kemudian dikosongkan secara bertahap ke badan air di bagian hilir, sehingga melemahkan gelombang banjir yang datang. Scher dkk [12] menambahkan kolam retensi selain membantu mengurangi banjir, penahan air hujan, kolam juga bermanfaat bagi kualitas air di sungai terdekat, karena memerangkap polutan pada material sedimentasi/endapan.

Kannan dkk [13] melakukan pemodelan hidrologi untuk kolam retensi dengan menggunakan metode SWAT (*Soil and Water Assessment Tools*) yaitu model pendekatan analitis dengan perspektif hidrologi terhadap perencanaan kolam retensi. Souza dkk [14] menyebutkan kolam retensi merupakan salah satu pendekatan *Low Impact Development* (LID) yang dapat digunakan untuk penyelesaian banjir di wilayah perkotaan yang padat.

Desain dimensi kolam retensi diperhitungkan berdasarkan total volume limpasan yang berlebih/ total volume banjir yang meluap yang tidak dapat dialirkan melalui suatu kapasitas penampung saluran atau daerah penyimpanan pada suatu titik dalam satu *catchment area*. Simulasi penentuan volume tampungan kolam retensi diperhitungkan antara selisih *inflow*/ debit masuk dikalikan terhadap durasi waktu dikurangi *outflow*/ debit keluar saluran dalam suatu durasi waktu.

Adapun tujuan penelitian ini adalah: melakukan simulasi model SWMM *rainfall runoff* (hujan -

limpasan permukaan) untuk penentuan debit banjir, menentukan total volume air banjir yang terjadi dengan kondisi eksisting/tanpa kolam retensi, menentukan dimensi kolam retensi dan mengetahui keandalan kolam retensi terhadap debit banjir yang terjadi.

Penelitian terkait kolam retensi banjir di dekat lokasi penelitian ini sebelumnya oleh Prayoga dkk [15] berupa perencanaan kolam retensi pada DAS Kali Semarang (posisi hilir lokasi penelitian Jalan Jangli ini) didapatkan hujan rencana: 162 mm pada kala ulang 10 tahun, menghasilkan debit puncak banjir (metode Nakayasu): $63 \text{ m}^3/\text{detik}$. Dengan *flood routing* penelusuran banjir, diperoleh volume desain tampungan kolam retensi sebesar 88.000 m^3 , dan luas tampungan yang dibutuhkan: 68 m^2 . Penelitian oleh Rachmayanie dkk [16] menyebutkan bahwa kolam retensi yang terdapat pada Kampus Fakultas Ekonomi Universitas Diponegoro (posisi hulu dari jalan Jangli) memiliki daerah tangkapan air (*catchment area*) $0,2 \text{ km}^2$, volume kolam: 2300 m^3 , mampu menahan debit banjir: $3,92 \text{ m}^3/\text{detik}$.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian di atas adalah pada penelitian ini kolam retensi pengendali debit banjir tidak direncanakan pada posisi badan sungai atau badan air namun direncanakan dari posisi antara drainase jalan baru berupa culvert gorong-gorong lalu dihubungkan ke drainase eksisting perumahan. Perbedaan lainnya adalah pada model simulasi *Rainfall-Runoff* perhitungan hidrograf banjir menggunakan metode Soil Conservation Services Curve Number (SCS – CN) yang menggunakan pola tutupan lahan dan jenis tanah dalam penentuan besar infiltrasi dan limpasan yang terjadi, tidak menggunakan metode Nakayasu dan Rasional yang sering dipakai untuk perencanaan drainase perkotaan. Hal ini mempertimbangkan bahwa adanya perubahan tutupan lahan yang berlangsung cepat hanya dalam 6 bulan masa konstruksi dapat mengakibatkan banjir pada lokasi tersebut.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari sumber-sumber resmi seperti data curah hujan dari Pusdatar Jateang. Data curah hujan berupa data titik (R_i) dari pos stasiun hujan terdekat yaitu stasiun hujan Pucang Gading selama 10 tahun (2010-2019). Hujan area (R_i) dikenakan uji distribusi (Normal, Log Normal, Log pearson, Gumbel), jenis distribusi data yang dipilih adalah yang memiliki selisih maksimum D terkecil serta lulus uji Smirnov Kolmogorov & uji Chi Square, untuk penentuan besar curah hujan rencana (*design rainfall*).

Penentuan periode ulang n -tahun hujan rencana disesuaikan dengan Peraturan Menteri PUPR No.12

Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan, disebutkan bahwa untuk kota Metropolitan dengan luas tangkapan air (*catchment area*): 100-500 ha, maka kala ulang hujan rencana dihitung untuk tiap kala ulang 10 tahun [17].

Peta topografi/ peta kontur, diperoleh berupa peta DEM dari Badan Informasi Geospasial, dan peta jenis tanah dan tata guna lahan menggunakan data yang diperoleh dari FAO Soil Map [18]. Peta tutupan lahan akan digunakan untuk perhitungan nilai *Curve Number* dan nilai *Impervious* yang nantinya akan dimasukkan ke dalam model SWMM.

Penentuan batas tangkapan air/ *catchment area* dilakukan dengan model software HEC HMS, berupa proses delineasi dan basin yang dibagi dalam beberapa sub basin, *reach* dan *junction*, sampai ke titik *outlet* di hilir drainase perumahan.

Analisis hidrologi dilakukan untuk mendapatkan hidrograf limpasan pada *catchment area*, dalam penelitian ini digunakan Hidrograf Satuan Sintetis metode SCS Curve Number untuk analisis debit banjir. Pada tiap *sub catchment* dimasukkan: nilai CN, *Impervious*, slope kemiringan lahan, luas area (H_a), dan data *Time Series* berupa intensitas hujan 6 jam kala ulang 10 tahun.

Analisa hidrolika dilakukan dengan model SWMM untuk melihat kapasitas saluran yang ada terhadap hidrograf limpasan permukaan yang terjadi dengan periode simulasi hujan selama 12 jam. Komponen fisik hidraulik berupa: *node* (untuk memodelkan titik pertemuan antar *conduit*), *conduit* untuk memodelkan saluran eksisting, *Storage* untuk memodelkan kolam retensi dan *Orifice Link* sebagai model pintu air di kolam retensi.

Pada *output* program SWMM akan ditampilkan kapasitas *node* dan *conduit* dalam mengalirkan debit limpasan permukaan, serta menampilkan genangan atau kapasitas yang berlebih dari suatu *conduit* atau *node*. Bila terjadi genangan/ *flooding*, maka model SWMM juga bisa dipergunakan untuk memodelkan kolam retensi sistem drainase yang ada.

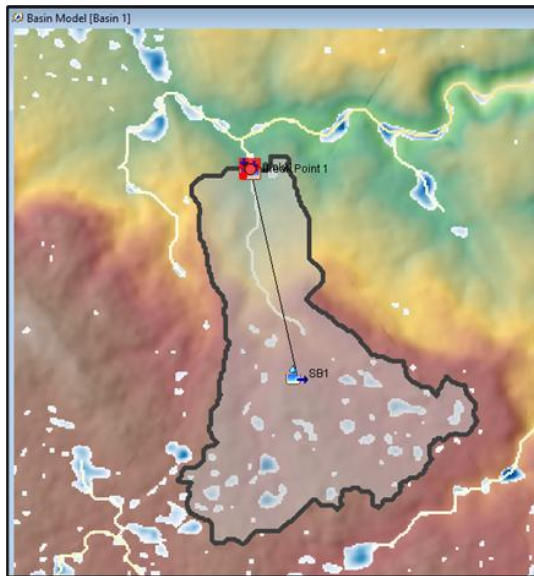
Penentuan dimensi kolam retensi dilakukan dengan menggunakan volume total air yang tergenang (*total flooding*) di salah satu *node junction model*, dimensinya menyesuaikan pada ketersediaan lahan di lokasi banjir tersebut. Selanjutnya dilakukan kembali *running analysis* program SWMM untuk melihat apakah dimensi kolam retensi yang dimodelkan sudah dapat mengatasi genangan yang terjadi.

3. HASIL PEMBAHASAN

Delineasi *Catchment Area* & Poligon Thiessen

Delineasi daerah tangkapan air Jalan Alternatif

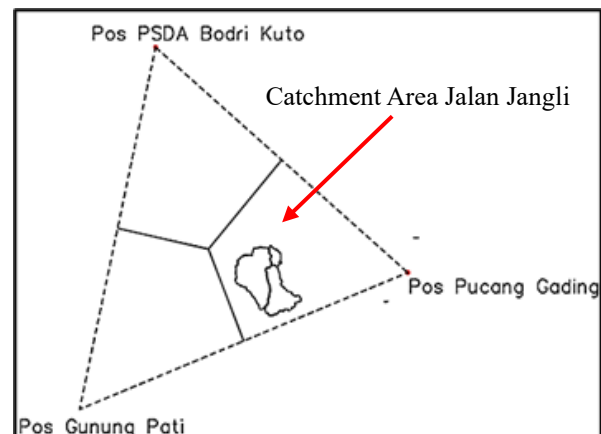
Jangli dengan titik hilir (*outlet*) di drainase hilir Perumahan Jangli Indah dilakukan dengan bantuan model HEC HMS, seperti pada **Gambar 3**, diperoleh luas catchment area : 142 ha.



Gambar 3. Delineasi catchment area jalan alternatif Jangli

Perhitungan curah hujan area menggunakan data

hujan titik (*point rainfall*), berupa hujan harian maksimum 10 tahunan Stasiun pos hujan Pucang Gading, dikarenakan hasil seluruh *catchment area* 100% berada dalam wilayah pos Pucang Gading (**Gambar 4**), sehingga data hujan menggunakan data hujan harian maksimum 10 tahunan pos Pucang Gading (tahun 2010-2019). Hasil perhitungan hujan harian maksimum tahunan dapat dilihat dalam **Tabel 1**.



Gambar 4. Posisi catchment area jalan alternatif Jangli terhadap 3 pos hujan terdekat

Tabel 1. Hujan harian maximum DAS tahunan

Tahun	PSDA Bodri Kuto		Pucang Gading		Gunung Pati		Hujan Maks harian Rerata
	0.00%		100.00%		0.00%		
	Ri (max)	Cri	Ri (max)	Cri	Ri (max)	Cri	
2010	97.00	0.00	87	87.00	165	0.00	87.00
2011	79.00	0.00	150	150.00	200	0.00	150.00
2012	93.00	0.00	100	100.00	99	0.00	100.00
2013	150.00	0.00	90	90.00	146	0.00	90.00
2014	177.00	0.00	106	106.00	148	0.00	106.00
2015	155.00	0.00	105	105.00	106	0.00	105.00
2016	120.00	0.00	104	104.00	152	0.00	104.00
2017	90.00	0.00	82	82.00	110	0.00	82.00
2018	120.00	0.00	88	88.00	85	0.00	88.00
2019	119.00	0.00	72	72.00	130	0.00	72.00

Uji Analisa Distribusi Frekuensi & Hujan Rencana (*Design rainfall*)

Selanjutnya dilakukan uji analisa distribusi frekuensi terhadap hujan maksimum harian rerata dengan metode: Gumbell, Log Pearson, Normal, Log Normal dilanjutkan dengan uji Chi Square dan uji Smirnov Kolmogorov (**Tabel 2**), terhadap hujan maximum harian rerata Ri untuk memperoleh hujan rancangan design rainfall (**Tabel 3**). Berdasarkan uji Chi Square, maka seluruh distribusi lolos uji (**Tabel 3**),

dan berdasarkan uji Smirnov Kolmogorov seluruh distribusi dapat diterima namun dipilih uji dengan nilai selisih maksimum terkecil yaitu uji Gumbel dengan $D = 0,117$ (**Tabel 2**). Nilai D adalah nilai selisih absolut antara distribusi frekuensi kumulatif sampel dengan distribusi frekuensi kumulatif teoritis (D_{max}) yang berbeda. Selanjutnya dilakukan *forecasting* (peramalan) besar nilai hujan rencana untuk kala ulang 10 tahun sebaran Gumbel dengan hasil sebesar: 126,16 mm (**Tabel 4**).

Tabel 2. Uji Smirnov Kolmogorov

Kolmogorov-Smirnov Test For All data	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	D Max
Normal	Accept	Accept	Accept	79.990%	0.17862
LogNormal	Accept	Accept	Accept	94.025%	0.14274
Log Pearson III	Accept	Accept	Accept	99.900%	0.9273
Ev1-Max Gumbel	Accept	Accept	Accept	98.730%	0.1171

Tabel 3. Uji Chi Square

Chi Square Test for All Data	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	Pearson Parameter
Normal	Accept	Accept	Accept	15.730%	2
LogNormal	Accept	Accept	Accept	15.730%	2
Log Pearson III					
Ev1-Max Gumbel	Accept	Accept	Accept	15.730%	2

Tabel 4. Hujan rencana (*Design Rainfall*) Q10 berbagai metode distribusi

Gumbel	126.161
Normal	125.661
Log Normal	126.481
Log Pearson III	125.978

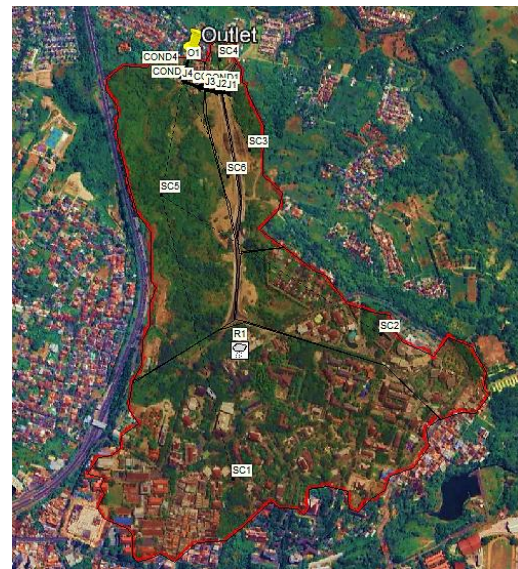
Hujan Rencana metode Gumbell pada **Tabel 4** didistribusikan ke intensitas hujan selama 6 jam dengan menggunakan rumus Mononobe (**Tabel 5**).

Tabel 5. Intensitas hujan jam-jaman (mm/jam)

t	Rt	Intensitas Hujan Jam-jaman
		Q10 Tahunan
		126.160 mm
(Jam)	(%)	Hujan Netto Jam-jaman = $R_n \times R_t$
1	55.032%	69.429
2	14.304%	18.046
3	10.034%	12.659
4	7.988%	10.078
5	6.746%	8.510
6	5.896%	7.439

Model SWMM Jaringan Drainase Eksisting

Model SWMM Jalan Alternatif Jangli dibuat dengan memodelkan komponen hidrologi, hidrolika dan melakukan *running analysis* terhadap komponen yang telah dibuat. Drainase eksisting dimodelkan sebagai *conduit* 1-4, demikian juga Sub Catchment 1-6 sebagai daerah tangkapan air *outlet* drainase Perumahan Jangli Indah. Model SWMM global terlihat dalam **Gambar 5**. Gambar layout saluran drainase eksisting ditunjukkan pada **Gambar 6**, dimana terlihat posisi banjir adalah diantara J2 – Saluran Conduit 2 dan J3. Posisi banjir aktual pada **Gambar 6** ini akan dijadikan pembandingan untuk uji validitas model SWMM yang dibuat apakah sudah sesuai atau tidak dengan kondisi eksisting.



Gambar 5. Global model SWMM jalan alternatif Jangli



Gambar 6. Detail posisi banjir dan jaringan drainase eksisting jalan Jangli

Skema drainase eksisting sesuai dengan Model SWMM pada **Gambar 5** dan **Gambar 6** diterangkan pada **Tabel 6**.

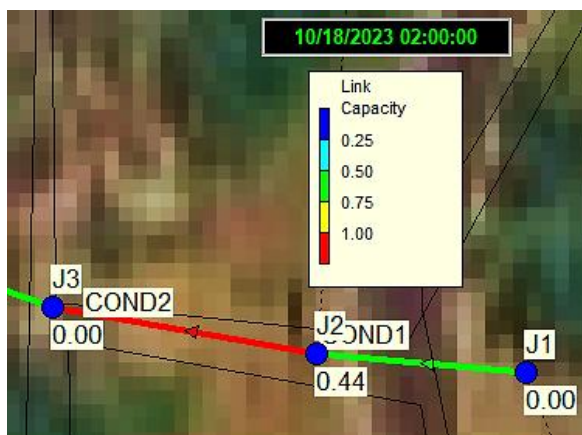
Tabel 6. Skema Drainase eksisting Perumahan Jangli Indah Model SWMM

No	Sub Catchment/ Junction/ Conduit	Outlet dan Bahan
1	Sub Catchment1	Sub catchment 5
2	Sub Catchment2	Sub catchment 5
3	Sub Catchment5	J3
4	Sub Catchment 3	J1
5	Sub Catchment 4	J2
6	Sub Catchment 5	J3
7	J1	Conduit 1 (Box Culvert beton 1,2 x 1,2 m x 30 m panjang)
8	Conduit 1(Box Culvert beton 1,2 x 1,2 m x 30 m panjang)	J2
9	J2	Conduit 2(Paritan tanah uk. 0,8 lebar x 20 m' panjang x 0,4 kedalaman)
10	Conduit 2(Paritan tanah uk. 0,8 x 20 m' x 0,4 kedalaman)	J3
11	J3	Conduit 3(buis beton dia. 0,8m x90 m')
12	Conduit 3 Conduit 3(buis beton dia. 0,8m x90 m')	J4
13	J4	Conduit 4 (Saluran alami 2 m x 113 m')
14	Conduit 4	Outfall 1(End)

Hasil Simulasi Banjir Model SWMM Kondisi Drainase Eksisting (Tanpa Kolam Retensi)

Setelah dilakukan *input* model hidraulika (drainase eksisting) dan model hidrology (hujan rencana) pada model SWMM kondisi eksisting tanpa kolam retensi, *running analysis* dilakukan, dengan hasil terjadi banjir pada posisi node J2 ke Conduit 2 (**Gambar 7**, terlihat warna merah pada saluran COND2 yang menandakan kapasitas saluran telah melebihi kapasitas maksimum 1).

Posisi banjir ini sudah tepat persis dengan posisi banjir pada kejadian nyata (bandingkan terhadap **Gambar 6**) yaitu antara J2 – Conduit 2 – J3. Artinya dapat disimpulkan bahwa model SWMM yang kita buat valid dan menyerupai kondisi asli.



Gambar 7. Result analysis posisi flooding banjir j2 - conduit2 - J3

Tabel 7 menunjukkan detail banjir pada posisi node J2 dengan durasi selama total 59 menit pada jam simulasi ke-2 (banjir terjadi pada rentang waktu 02.00

s/d 02.59), debit banjir maksimum: 0,445 m³/jam, total volume banjir yang menggenangi perumahan: 805 m³.

Tabel 7. Node flooding J2 simulasi drainase aktual Model SWMM

Node	Durasi Banjir (Menit)	Debit Maximum (m3/det)	Jam Kejadian Banjir	Total Volume Banjir (liter)
J2	59,4	0.445	02:00	805.000

Tabel 8 menunjukkan detail kapasitas saluran Conduit 2 saat terjadinya banjir pada node J2. Terjadi *Over capacity* pada saluran Conduit 2 dengan debit saluran tertinggi: 0,726 m³/detik, kecepatan saluran tertinggi: 2,27 m/detik, terjadi pada jam simulasi 01:38.

Tabel 8. Nilai puncak pada saluran conduit 2

Link/ Saluran	Debit Puncak (m3/det)	Waktu Debit Puncak	Kecepatan Maksimum (m/det)	Tinggi Air Dalam Saluran (m)
Conduit 2	0.726	01:38	2.27	0.4

Total volume banjir yang terjadi pada J2: 805.000 liter = 805 m³. Nilai ini merupakan selisih antara volume air yang memasuki saluran Conduit 2 dikurangi volume air yang keluar dari saluran Conduit 2 pada rentang waktu kejadian banjir yaitu pukul 02:00 – 02:59. Volume banjir total ini dikonevrsi menjadi dimensi kolam retensi. Volume kolam retensi disesuaikan dengan ketersediaan lahan di lokasi yaitu: (40x20x1,1) m³. Maka Volume kolam retensi adalah 880 m³ > 805 m³, volume kolam > volume total banjir. Maka, dimensi kolam retensi direncanakan dengan panjang 40m, lebar

20 m, tinggi 1,1m.

Hidrograf banjir pada saat kejadian banjir terjadi di Saluran Conduit 2 dengan debit puncak pada jam simulasi 02:00 s/d 02:30 sebesar: 0,72 – 0,726 m³/detik, ditampilkan pada **Gambar 13**, sekaligus ditampilkan perbandingan besar debit yang mampu dilewatkan oleh kondisi tanpa kolam retensi (saluran Conduit 2) dan dengan kolam retensi (Pintu air REG1).

Hasil simulasi model SWMM di atas ini menunjukkan posisi banjir di model SWMM sudah sesuai dengan posisi banjir di kejadian asli. Posisi J2-Conduit 2 memang merupakan posisi terdekat dengan rumah-rumah yang mengalami banjir sesuai dengan fakta kejadian lapangan (**Gambar 6**), yang artinya model yang dibuat dapat diandalkan untuk melakukan pemodelan kolam retensi berikutnya. Selanjutnya akan dilakukan pemodelan kolam retensi di dalam model SWMM untuk melihat perilaku hidrolis saluran yang ada terhadap debit banjir yang terjadi.

Property	Value
Name	STO1
X-Coordinate	437858.010
Y-Coordinate	9221867.716
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert EL	104
Max. Depth	2
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Evap. Factor	0
Seepage Loss	NO
Storage Curve	TABULAR
Functional Curve	
Coefficient	1000
Exponent	0
Constant	0
Tabular Curve	
Curve Name	KurvaTampungan

Gambar 8. Dialogue box model kolam retensi

Hasil Simulasi Banjir Model SWMM Dengan Penambahan Kolam Retensi

Selanjutnya kolam retensi dengan volume sebesar 880 m³ dimodelkan pada posisi antara node J2 – node J3 atau menggantikan saluran Conduit 2. Model SWMM dimodifikasi dengan penambahan kolam retensi STORAGE 1 (**Gambar 8**) dengan dimensi p = 40m, l = 20m, dan h kedalaman = 1m, dengan elevasi dasar *bottom* kolam pada +104m.

Pintu kolam retensi yang menuju hilir J3 dimodelkan sebagai ORIFICE LINK (**Gambar 9**) sebagai pintu air di kolam retensi, dengan dimensi pintu p = 0,8m, l = 0,8m, tinggi pintu = 0,8 m, dipasang pada elevasi dasar: +104 m.

Property	Value
Name	REG1
Inlet Node	STO1
Outlet Node	J3
Description	
Tag	
Type	BOTTOM
Shape	RECT_CLOSED
Height	0.8
Width	0.8
Inlet Offset	104
Discharge Coeff.	0.65
Flap Gate	NO
Time to Open/Close	0
Width of orifice opening when fully opened (m)	

Gambar 9. Dialogue box pintu air kolam

Daya tampung kolam retensi/kurva tanpungan kolam dimodelkan sebagai STORAGE CURVES (**Gambar 10**), dengan asumsi luasan yang sama dari kedalaman 0 s/d 1,5m yaitu 800 m².

	Depth (m)	Area (m2)
1	0	800
2	0.5	800
3	1	800
4	1.5	800

Gambar 10. Kurva Tampungan Kolam

Kontrol pengoperasian pintu outlet kolam retensi (**Gambar 11**) dibuat dengan pengaturan bahwa pintu air akan selalu terbuka, dengan ketinggian bukaan h = 0,8 m, terbuka penuh sesuai tinggi pintu kolam retensi.

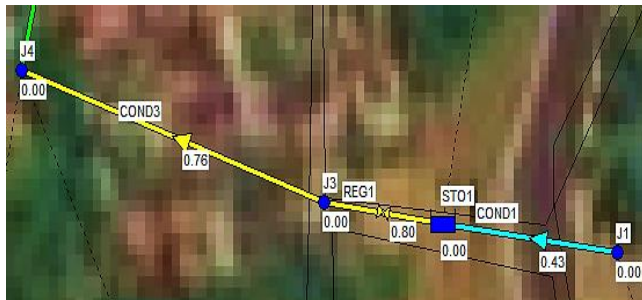
Pada **Gambar 12** ditampilkan gambar layout kolam retensi (STO1) dan pintu air REG1 pada model SWMM yang menghubungkan Conduit 1 dan Junction 3 (menggantikan J2 dan Conduit 2 pada posisi banjir).

```

RULE 1
IF NODE STO1 DEPTH <= 0.1
THEN ORIFICE REG1 SETTING = 0.8

RULE 2
IF NODE STO1 DEPTH > 0.1
THEN ORIFICE REG1 SETTING = 0.8
    
```

Gambar 11. Kontrol buka-tutup pintu



Gambar 12. Layout kolam retensi STO1 dan pintu kolam RG1

Setelah model kolam retensi berupa STO1 dan pintu outlet kolam berupa REG1 dibuat, dilakukan *running analysis*, model SWMM menunjukkan hidrograf banjir yang terjadi pada kondisi sebelum kolam retensi (Conduit 2) dan setelah kolam retensi (REG1), ditampilkan pada **Gambar 13**, terlihat bahwa sebelum penerapan kolam retensi, drainase Conduit 2 hanya mampu melewati debit maksimal 0,726 m³/detik, setelah penerapan kolam retensi maka pintu air kolam retensi mampu melewati debit maksimal 0,9426 m³/detik, dan tanpa terjadinya genangan air.

Hasil *running analysis* model SWMM dengan pemodelan kolam retensi menunjukkan sudah tidak terjadi *node flooding* baik di posisi STO1 (pengganti J2) → Pintu Kolam retensi REG1 (pengganti Conduit 2) → J3 → Conduit3. Pada kolam retensi, tinggi air maksimum: 0,89 m < 1,1 m tinggi total kolam retensi, yang artinya aman, tidak terjadi *overtopping* luapan air dari dalam kolam menuju keluar kolam melewati tinggi 1,1 m. Debit puncak tertinggi yang terjadi: 0,24 m³/detik dan volume maksimum di kolam retensi: 712,61 m³, lebih kecil dari 880 m³ volume maksimum kolam. Fluktuasi tinggi air, volume dan debit yang masuk ke dalam kolam retensi selama 12 jam periode simulasi dapat dilihat di **Tabel 8**.

Gambar layout rencana kolam retensi pada lokasi penelitian ditunjukkan pada **Gambar 14**, dimana dimensi kolam ditentukan berdasarkan volume banjir yang terjadi dan layout kolam ditentukan berdasarkan ketersediaan lahan bebas di lokasi, yaitu seluas (40x20) m², dengan kedalaman 1,1m.

Dapat disimpulkan dari **Gambar 13** bahwa keberadaan kolam retensi meningkatkan debit puncak yang melimpas melalui drainase perumahan, mencegah terjadinya overtop atau genangan banjir. Fluktuasi ketinggian air dan besarnya volume air kolam STO1 yang masuk dari CONDUIT 1 diperlihatkan pada Tabel 8, selama 12 jam periode simulasi dilakukan maka ketinggian air tertinggi terjadi pada pukul 02:00 s/d 02:30 setinggi 0,89 m, hal

ini sejalan dengan total debit masuk tertinggi pada kolam retensi pukul 02:00 dengan total debit maksimum 1,17 m³/ detik.

Dari **Tabel 9** terlihat bahwa tidak terjadi lagi kejadian banjir atau *over capacity* saluran, pada Conduit 3 (hilir kolam retensi) diperoleh Q puncak saluran tertinggi: 1,017 m³/detik, dengan kecepatan maksimum: 2,45 m/detik, terjadi pada jam simulasi 02:13 (**Tabel 9**).

Tabel 9. Nilai puncak variable conduit 3

Conduit	Debit Puncak (m ³ /det)	Waktu Debit Puncak	Kecepatan Maksimum (m/det)	Tinggi Maks Air Dalam Saluran (m)
C3	1.017	02:13	2.45	0.64

Dari hasil simulasi di atas disimpulkan bahwa kolam retensi dapat mencegah terjadinya banjir di dalam drainase perumahan karena tidak terdapat kejadian air meluap/ *overtopping* atau volume air berlebih (*over capacity*) pada kolam retensi maupun pada seluruh saluran drainase lainnya.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

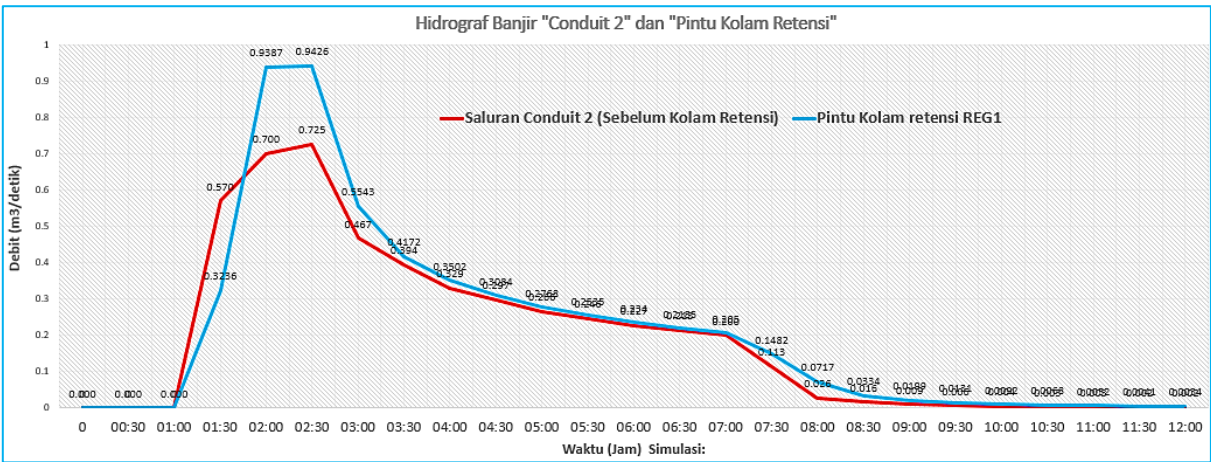
Kesimpulan

Dari hasil simulasi model SWMM kondisi aktual tanpa kolam retensi, diketahui bahwa terjadi banjir dengan posisi yang sama dengan posisi banjir di lapangan, yaitu posisi node 'J2' dan saluran 'Conduit 2', dengan Q puncak J2: 0,445 m³/detik, durasi banjir selama 59,4 menit dan volume total air banjir: 805 m³. Pada saluran 'Conduit 2' diperoleh Q puncak: 0,726 m³/detik dan kecepatan aliran maksimum: 2,27 m/detik.

Untuk mengatasi banjir dilakukan pemodelan kolam retensi pada posisi banjir yaitu: node J2 - Conduit 2 dengan dimensi: (40x20x1,1)m³. Hasil simulasi model SWMM dengan kolam retensi menunjukkan Q puncak pada kolam retensi: 0,24 m³/detik, volume maksimum air dalam kolam retensi: 712,61 m³ (lebih kecil dari volume total kolam 880 m³), kedalaman maksimal air di kolam 0,98m, yang mana lebih kecil dari kedalaman total kolam 1,1 m. Artinya sudah tidak terjadi *overtopping* air dari dalam kolam retensi dan kolam retensi dapat diandalkan untuk mencegah banjir pada lokasi tersebut.

Tabel 8. Fluktuasi kedalaman muka air/volume/banjir pada kolam retensi STO1

Time	Depth	Volume (m3)	Lateral Inflow	Total Inflow (m3/detik)	Flooding (m3/detik)
00:30:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01:00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01:30:00	0.44	353.69	0.12	0.58	0.00
02:00:00	0.89	708.39	0.24	1.17	0.00
02:30:00	0.89	712.61	0.17	0.82	0.00
03:00:00	0.61	487.24	0.09	0.46	0.00
03:30:00	0.51	411.44	0.08	0.39	0.00
04:00:00	0.46	371.64	0.06	0.33	0.00
04:30:00	0.43	345.33	0.06	0.30	0.00
05:00:00	0.41	324.63	0.05	0.27	0.00
05:30:00	0.39	308.72	0.05	0.25	0.00
06:00:00	0.37	295.07	0.04	0.23	0.00
06:30:00	0.35	283.85	0.04	0.21	0.00
07:00:00	0.34	273.85	0.04	0.20	0.00
07:30:00	0.29	228.60	0.02	0.11	0.00
08:00:00	0.19	153.84	0.01	0.02	0.00
08:30:00	0.13	102.03	0.00	0.02	0.00
09:00:00	0.10	77.67	0.00	0.01	0.00
09:30:00	0.08	62.38	0.00	0.01	0.00
10:00:00	0.06	52.00	0.00	0.00	0.00
10:30:00	0.06	44.35	0.00	0	0.00
11:00:00	0.05	38.78	0.00	0	0.00
11:30:00	0.04	34.52	0.00	0	0.00
12:00:00	0.04	31.14	0.00	0	0.00



Gambar 13. Hidrograf banjir pada kondisi tanpa kolam (Sal. Conduit 2) dan pintu kolam retensi (REG 1)



Gambar 14. Layout Posisi Kolam Retensi

Saran

Apabila diperoleh data hujan aktual yang terjadi pada lokasi banjir tersebut, dapat dilakukan pemodelan SWMM dengan menggunakan intensitas hujan aktual pada saat jam kejadian banjir sehingga dapat diperoleh model yang lebih riil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. K. Hussein, K. Alkaabia, D. Ghebreyesus, H. Sharif, O. Hatim. 2020. *Land use/land cover change along the eastern coast of the uae and its impact on flooding risk*. Geomatics, Natural Hazards and Risk, Vol. 11, No. 1, 112–130.
<https://doi.org/10.1080/19475705.2019.1707718>
- [2]. USGS (U.S. Geological Survey). 1999. *The Quality Of Our Nation's Waters-Nutrients And Pesticides*. U.S. Geological Survey Circular 1225, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.
- [3]. Tribunnews Jateng:
<https://jateng.tribunnews.com/2023/02/04/ini-peyebab-3-rumah-warga-di-perumahan-pondok-jangli-indah-tembalang-semarang-terdampak-banjir>
- [4]. Suripin, Darsono, Kurniani, Hutagalung, Dintia. 2020. *Development of Sustainable Detention Ponds for Flood and Sediment Control in Urban Areas*. Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing.
doi:10.1088/1742-6596/1625/1/012046
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1625/1/012046/pdf>
- [5]. Kemen PUPR. 2017. *Modul Metode Pengendalian Banjir-Pelatihan Pengendalian Banjir*. Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, Kementerian Pekerjaan Umum Perumahan Rakyat, Hal. 9.
- [6]. A. Hussein, K. Behzadian, M. Karami, P. Rossi. 2023. *A New Multi-Criteria Framework To Identify Optimal Detention Ponds In Urban Drainage Systems*. Journal Flood Risk Management.
<https://doi.org/10.1111/jfr3.12890>
- [7]. R. McCuen.1998. *Hydrologic Analysis and Design*, P.101, Prentice Hall Inc, New Jersey.
- [8]. USACE Hydrologic Engineering Centre. 2022. *HEC HMS User's Manual*,
<https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/4.8>
- [9]. USACE Hydrologic Engineering Centre. 2022. *HEC HMS Technical Reference Manual*.
<https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmstrm>
- [10]. L. Rossman. 2015. *Storm Water Management Model User's Manual*, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati Ohio USA.
https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-02/documents/epaswmm5_1_manual_master_8-2-15.pdf
- [11]. S. Birkinshaw, C. Kilsby, G. O'Donnell, P. Quinn, R. Adams, M. Wilkinson. 2021. *Stormwater Detention Ponds in Urban Catchments—Analysis and Validation of*

- Performance of Ponds in the Ouseburn Catchment*. Newcastle upon Tyne, UK. Water. <https://doi.org/10.3390/w13182521>
- [12].O. Scher, A. Thiery. 2004. *Highway Stormwater Detention Ponds As Biodiversity Islands*. Archives Des Sciences. https://www.researchgate.net/publication/279908411_Highway_Stormwater_Detention_Ponds_as_Biodiversity_Islands?enrichId=rgreq-bb1612b6a49ae5b023f5d3c375bb5c0d-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI3OTkwODQxMTtBUzo2ODU1NDQ4MzMwMzIyMDFAMTU0MDQ1ODAzMzg3Mw%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf
- [13].N. Kannan, J. Jeong, J. Arnold, G. Jeff. 2014. *Hydrologic Modeling Of Detention Pond*. International Journal of Research in Engineering and Technology, Volume: 03 Issue: 02. https://ssl.tamu.edu/media/89813/ijret_110302117.pdf
- [14].F. Souza, M. Costa, S. Koide. 2019. *Hydrological Modelling and Evaluation of Detention Ponds to Improve Urban Drainage System and Water Quality*. Water MDPI Basel. <http://dx.doi.org/10.3390/w11081547>
- [15].Prayoga, M. D., Wicaksono Agami, R. T., Sangkawati, S., & Sugiyanto, S. 2013. *Perencanaan Kolam Retensi Dan Stasiun Pompa Pada Sistem Drainase Kali Semarang*. Jurnal Karya Teknik Sipil, 2(2), 209-218. Retrieved from <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkts/article/view/4077>
- [16].Arieska Avianda Rachmayanie, A. A. R., Suzanna Ratih Sari, S. R. S., & Mohammad Debby Rizani, M. D. R. 2021. *Optimalisasi Pemanfaatan Kolam Retensi Sebagai Elemen Lanskap Berkelanjutan Pada Kawasan Pendidikan Perkotaan*. Jurnal Ruang, 8(2).
- [17].Peraturan Menteri PUPR No.12 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan. Kementerian Pekerjaan umum Perumahan Rakyat Republik Indonesia.
- [18].FAO Soil Map <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/faounesco-soil-map-of-the-world/en/>