

PENDEKATAN BERORIENTASI OBJEK UNTUK PEMODELAN RESPONS SUATU HAMPARAN WILAYAH PERKOTAAN TERHADAP HUJAN

Jusuf J. S Pah, (yuserpbdaniel@yahoo.co.id)

Dosen pada Jurusan Teknik Sipil FST Undana-Kupang

Lucelina F. De A. Freitas (luce_andrade@ymail.com)

Penamat dari Jurusan Teknik Sipil FST Undana-Kupang

Elia Hunggurami, (eliahunggurami@yahoo.com)

Dosen pada Jurusan Teknik Sipil FST Undana-Kupang

ABSTRACT

This work prepared a framework for an object-oriented urban terrain hydrological response model, and was meant to work in conjunction with the preparatory module for urban terrain data capturing, prepared in previous work. This framework engages five classes of object namely terrain cell, clock, precipitation, neighbor identifier and terrain platform. Based on the framework, an object-oriented prototypical model was constructed in MS-Excel environment to demonstrate the workability of the framework. Applying the model on an exemplar case shows that the module mimics well the hydrological response of the terrain and can accurately replicate the surface run-off response of the terrain. The degree of accuracy was shown to be 95,15% just for a 9 cells modeling. Engaging terrain cells in greater number can yield more accurate results

Keywords :

Object - Oriented, Hydrology, Modeling

PENDAHULUAN

Perkotaan merupakan pusat segala kegiatan manusia mengakibatkan pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat dan peningkatan pada pemenuhan kebutuhan akan perumahan dan pemukiman. Hal ini berdampak pada perubahan tata guna lahan perkotaan serta perubahan respons hamparan terhadap hujan suatu wilayah perkotaan. Fenomena hidrologi tersebut sangat kompleks dan sulit untuk dipahami. Untuk memahami fenomena tersebut dibutuhkan suatu penyederhanaan dengan menempatkan fenomena tersebut dalam suatu pemodelan.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh suatu konsep pemodelan respons hamparan terhadap hujan suatu wilayah perkotaan yang berorientasi objek.

Waktu konsentrasi (t_c)

Waktu konsentrasi suatu hamparan adalah waktu yang diperlukan oleh air hujan yang jatuh untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke tempat keluaran hamparan (titik kontrol) setelah tanah menjadi jenuh dan depresi – depresi kecil terpenuhi. Perhitungan waktu konsentrasi (t_c) yang lebih cocok untuk hamparan perkotaan adalah dengan menggunakan persamaan 1 berikut :

$$t_c = t_o + t_d \tag{1}$$

Waktu konsentrasi dapat juga dihitung dengan membedakannya menjadi dua komponen yaitu

1. Inlet time (t_o) waktu yang diperlukan air untuk mengalir di permukaan lahan sampai saluran terdekat, sehingga :

$$t_o = \left[\frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{nd}{\sqrt{S}} \right]^{0,167} \text{ menit} \tag{2}$$

2. Conduit time (t_d) waktu perjalanan dari pertama masuk saluran sampai titik keluaran sehingga :

$$t_d = \frac{L_s}{60 V} \text{ menit} \tag{3}$$

Dengan nd adalah koefisien hambatan, S adalah kemiringan lahan, L adalah panjang lintasan aliran di atas permukaan lahan (m), L_s adalah panjang lintasan aliran di dalam saluran/sungai (m) dan V adalah kecepatan aliran di dalam saluran (m/detik).

Koefisien hambatan (nd) untuk setiap jenis kondisi permukaan berbeda – beda berdasarkan pada karakteristik permukaannya. Jika dalam satu sel hambatan terdapat beberapa jenis kondisi permukaan maka koefisien hambatan (nd) dapat dihitung dengan persamaan 4 berikut :

$$nd_{\text{Hamparan}} = \frac{\sum_{i=1}^n nd_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \tag{4}$$

Dengan nd_{Hamparan} adalah koefisien hambatan hamparan, nd_i adalah koefisien hambatan dengan jenis permukaan i , dan A_i adalah luas lahan dengan jenis permukaan.

Jika hamparan terdiri dari berbagai macam penggunaan lahan dengan koefisien aliran permukaan yang berbeda, maka C yang dipakai adalah koefisien hamparan dapat dihitung dengan persamaan 5 berikut:

$$C_{\text{Hamparan}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \tag{5}$$

Dengan A_i luas lahan dengan jenis penutup tanah i , C_i adalah koefisien aliran permukaan jenis penutup tanah i dan n adalah jumlah jenis penutup lahan.

Volume dari air permukaan dapat dihitung persamaan berikut 6 berikut:

$$Q = W_s (C d s^2) f_w \tag{6}$$

Dengan Q adalah volume air yang keluar dari sel (mm^3), W_s adalah faktor pembagi air, C adalah koefisien pengaliran, d adalah tinggi hujan (mm), s adalah lebar sisi sel (mm) dan f_w adalah faktor waktu (menit/menit).

Dimana :

$$W_s = \frac{1}{R_n} \tag{7}$$

Dengan R_n adalah jumlah sel penerima volume air yang keluar dari sel tinjauan

$$A = s^2 \tag{8}$$

Dengan A adalah luas hamparan (mm^2)

$$f_w = \frac{t}{t_c} \tag{9}$$

Sementara untuk menentukan besarnya infiltrasi ke dalam tanah digunakan persamaan 10 berikut:

$$i = (1 - C)Q \tag{10}$$

dengan i merupakan volume air yang terinfiltrasi ke dalam tanah (mm^3)

Untuk dapat menghitung jumlah air yang masuk dalam suatu sel hamparan akibat hujan dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 11 berikut :

$$V_w = s^2 d \tag{11}$$

Dengan V_w merupakan jumlah air yang masuk dalam satu sel (mm^3)

Selisih antara air yang masuk dan keluar akan tertinggal dalam sel tersebut, dan dapat dihitung menurut persamaan 12 berikut :

$$\text{Air Tertinggal} = \text{Air Masuk} - \text{Air Kelua} \tag{12}$$

Sedangkan tinggi dari air tertinggal dapat ditentukan dengan persamaan 13 berikut :

$$\text{Tinggi dari Air Tertinggal} = \text{Air Tertinggal}/s^2 \tag{13}$$

Modul Persiapan untuk Pemodelan Berorientasi Objek dari Respons Hidrologis Hamparan Perkotaan

Ada beberapa kelas – kelas objek yang membentuk modul persiapan untuk pemodelan berorientasi objek dari respons hamparan terhadap hujan pada suatu wilayah perkotaan antara lain :

Kelas : Objek (Class of Object)

Suatu hamparan perkotaan dengan semua gabungan komponennya akan diregenerasikan dan diwakili dalam bentuk sebuah modul ketika suatu sistem objek tertentu bekerja bersama pada hamparan dalam tanya. Objek – objek dari bentuk sifat yang sama adalah kelas dari objek.

Kelas : Organisator Data Persiapan (Class : Preliminary Data Organizer/PDO)

Kelas ini hanya memiliki satu objek yaitu Preliminary Data Organizer (PDO). Pada permulaan modul, sebuah PDO akan diaktivasi atau dihidupkan dan meminta masukan (input) dari data – data yang meliputi lebar sisi (s) dari hamparan dan jumlah elemen (n_e).

Setelah memasukkan data di atas, objek akan menghitung panjang lebar sisi (s) elemen dengan persamaan 14 berikut :

$$s = \frac{S}{\sqrt{n_e}} \tag{14}$$

Dengan s adalah panjang dari sisi elemen (mm), S adalah panjang dari sisi hamparan (mm) adalah n_e adalah jumlah elemen.

Jumlah elemen dalam sebuah baris (arah Timur – Barat) (Number of Element within a Row/NOE_R), sama dengan jumlah elemen dalam sebuah kolom (arah Selatan – Utara) (Number of Element within a Column/NOE_C) dengan cara berikut :

$$NOE_R = NOE_C = \sqrt{n_e} \tag{15}$$

Dan buat sebuah bidang kartesius yang relevan, panjang sumbu x dan sumbu y berturut – turut sama dengan S.

Dengan mengikuti cara ini, PDO menghasilkan objek Data_Sel (Data-Cell/DC) dalam jumlah yang sama dengan n_e dan memberikan pada setiap sel sehingga dihasilkan sebuah inisial yang unik dengan algoritma berikut :

1. Pada sel pertama ditetapkan inisial mn yang mana m = 1 dan n = 1, lebar sel s dan posisi sel pada koordinat (0;0) dalam bidang kartesius.
2. PDO akan memperoleh apakah jumlah dari Data-Sel (DC) yang ditetapkan sama dengan satu kelipatan NOE_R. Pada pertidaksamaan, PDO akan :
 - a. Menambah m dengan 1 dan memberikan inisial mn pada sel berikut, sisi sel s dan posisi sel pada koordinat (0 + (m – 1)(s);0); {m | 0 < m ≤ NOE_R; m adalah deretan angka} dalam bidang kartesius. Dengan mengikuti penetapan, PDO akan memeriksa jika angka dari DC yang ditetapkan sama pada satu titik NOE_R. Pada ketidaksamaan, PDO akan memilih sel berikut, menambah m dengan 1, inisial sel dengan mn berjalan dengan menetapkan lebar sisi sel s dan memposisikan sel dengan cara yang sama seperti yang digambarkan dalam 2a di atas. Dalam persamaan, PDO akan menemukan apakah nilai DC sejauh yang ditetapkan sama untuk satu titik NOE_C. Pada pertidaksamaan, PDO akan memilih DC yang berikutnya.
 - b. Tetapkan nilai m sama dengan 1, tambah n dengan 1 dan tetapkan inisial mn pada sel, lebar sisi sel s dan posisi sel pada koordinat (0 + (m – 1)(s);0); + (n – 1)(s)) {n | 0 < n ≤ NOE_C; n adalah deretan angka} dalam bidang kartesius. PDO akan meneruskan dengan cara yang sama seperti digambarkan dalam 2a di atas, kali ini dengan nilai m sekarang adalah tetap

statik sampai pada jumlah sel yang ditetapkan sama untuk satu titik NOE_R . Pada pertidaksamaan untuk titik NOE_C , PDO berhenti dari penetapan DCs.

Kelas : Data-Sel (Class : Data-Cells)

Suatu Data-Cell (DC) adalah sebuah objek dari kelas yang fungsi utamanya adalah yang mendata sifat – sifat dan data bagian dari hamparan yang diwakilinya. Pada saat pendataan data, setiap data-sel akan diaktivasi satu per satu, mulai dengan satu dengan inisial terendah sampai pada yang tertinggi. Pada saat aktivasi, sel akan mendata posisi koordinatnya dan inisialnya sebagai atribut/sifat dan akan diteruskan dengan meminta masukan dari data yang meliputi elevasi (z), tinggi hujan (d), koefisien pengaliran (C) dan koefisien hambatan (nd). Data –data elevasi, intensitas hujan, koefisien alira permukaan, dan koefisien hambatan akan digunakan sebagai atribut/sifat dari sel hamparan. Ini memungkinkan bahwa untuk setiap tipe di atas, ada yang memiliki jumlah data lebih dari satu. Seperti suatu kondisi, sel akan merata –ratakan hasilnya dan mendata nilai yang dirata – ratakan sebagai atributnya/sifatnya. Kemudian dengan mengirim atributnya pada objek penerbit sel hamparan, sebuah Data-Sel mengakhiri aktivitasnya.

Kelas : Penghasil Sel Hamparan (Class : Terrain Cell Generator)

Penghasil Sel Hamparan (Class Terrain Cell Generator/TCG) hanyalah objek dalam kelas penghasil sel hamparan (Class Terrain Cell Generator/TCG). Ketika diatur dalam fungsi, objek menghasilkan objek sel – sel hamparan dalam jumlah sama dengan jumlah data-sel yang siap digenerasikan oleh PDO. Satu TCG dipasangkan dengan satu DC. Sampai pada tiap TCG ditetapkan sifat yang berhubungan dengan DC.

Kelas : Sel Hamparan (Class : Terrain Cell)

Sel hamparan adalah sebuah objek dalam kelas sel hamparan yang menirukan ciri – ciri dan berpredikat sebagai bagian dari bagian dari hamparan perkotaan yang diwakilinya.

Kelas : Penampil Sel Hamparan (Class : Terrain Cell Publisher)

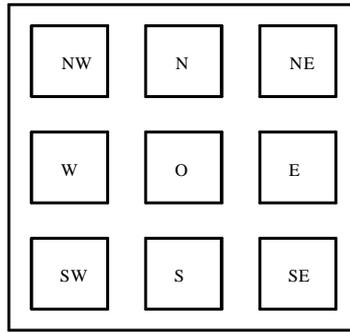
Kelas ini dibentuk oleh sebuah objek Kelas Penampil Sel Hamparan (Class Terrain Cell Publisher/TCP). Suatu TCP menampilkan informasi yang dikirim dalam platform Graphic User Interface (GUI), seperti cara memberi gambar wilayah untuk pengguna (users) tentang sifat – sifat hamparan dan distribusinya yang sama seluruhnya.

Operasional Model

Pada bagian ini akan dikemukakan bagaimana modul inti pemodelan berorientasi objek yang telah dikonstruksikan pada subbab 4.1 beroperasi. Operasi dari modul tersebut dijelaskan sebagai berikut :

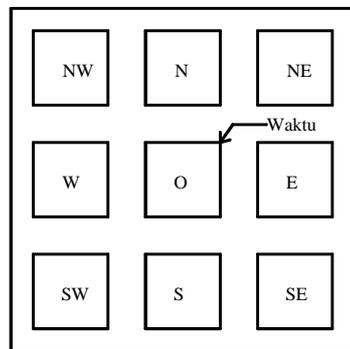
1. Suatu sel hamparan dalam dunia nyata, akan dibagi menjadi bagian – bagian yang lebih kecil yang memiliki posisi koordinat dan elevasi (x, y, z) seperti terlihat pada Gambar 1 berikut. Penamaan sel hamparan berdasarkan pada posisi dari sel tetangga terhadap sel yang ditinjau berdasarkan pada arah mata angin. Sel O merupakan sel yang akan ditinjau, sel N (North) adalah sel hamparan tetangga pada arah utara dari sel tinjauan O, sel NE (*Northeast*) adalah sel hamparan tetangga pada arah timur laut sel tinjauan O, sel E (*East*) adalah sel hamparan tetangga pada arah timur sel tinjauan O, sel SE (*Southeast*) adalah sel hamparan tetangga pada arah tenggara dari sel tinjauan O, sel S (*South*) adalah sel hamparan tetangga pada arah selatan dari sel tinjauan O, sel SW (*Southwest*) adalah sel hamparan tetangga pada arah barat daya dari sel tinjauan O, sel W (*West*) adalah sel hamparan tetangga pada arah barat dari sel

tinjauan O dan sel NW (*Northwest*) adalah sel hamparan tetangga pada arah barat laut dari sel tinjauan O.



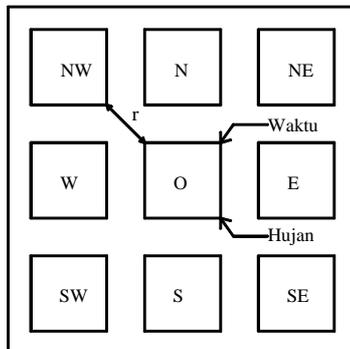
Gambar 1. Pembagian Sel Hamparan

- Sel – sel hamparan ini memperoleh pesan (*message*) waktu (*clock*) terjadinya hujan dan lamanya hujan (*t*) yang terjadi. Waktu diperoleh dari objek jam (*clock*).



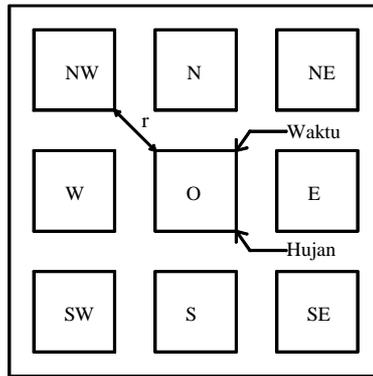
Gambar 2. Sel Hamparan Memperoleh Waktu dari Objek Jam

- Pada saat terjadi hujan maka objek hujan akan memberikan pesan pada objek sel hamparan berupa besarnya hujan yang terjadi.



Gambar 3. Sel Hamparan Memperoleh Besar Hujan dari Objek Hujan

- Selama terjadinya hujan, air hujan akan mengalir dari sel elevasi dengan elevasi lebih tinggi ke sel hamparan dengan elevasi lebih rendah. Objek pengenal tetangga memberikan pesan (*message*) pada objek sel hamparan mengenai posisi koordinat sel hamparan tetangga dan elevasi sel hamparan tetangga.
- Dari hasil perhitungan kemiringan tetangga, jika nilai kemiringan positif maka sel hamparan tinjauan akan mengalirkan air, jika nilai kemiringan negatif maka sel hamparan tinjauan akan menerima aliran air dan jika nilai kemiringan sama dengan nol maka sel hamparan tinjauan tidak mengalirkan air sama sekali.

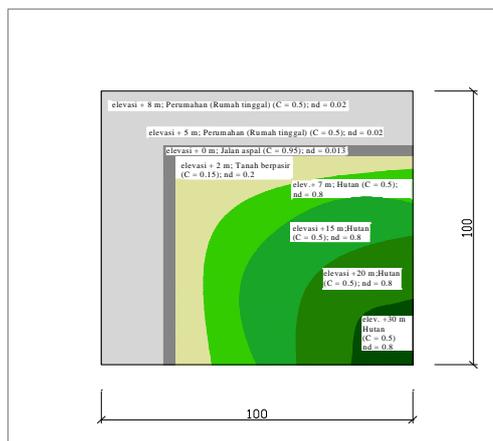


Gambar 4. Sel Hamparan Memperoleh Elevasi, Jarak dan Kemiringan Tetangga

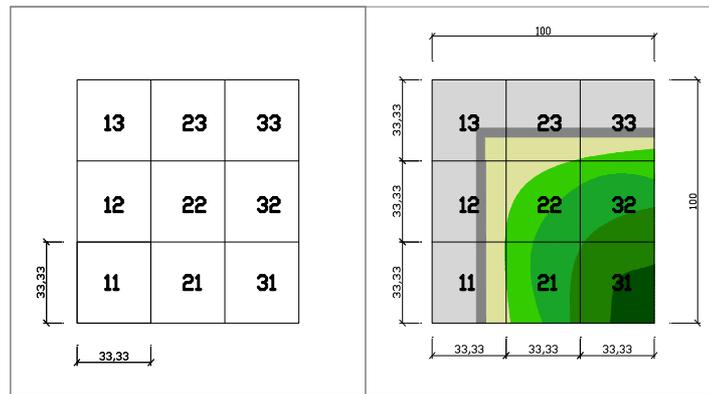
6. Lamanya aliran air hujan dari satu sel hamparan ke sel hamparan yang lain membutuhkan waktu tertentu.
7. Pada saat terjadinya hujan, air hujan akan mengalir di atas sel hamparan dari yang berelevasi tinggi ke yang rendah. Aliran air hujan yang masuk ke dalam sel hamparan tinjauan dapat ditentukan volumenya menurut persamaan 11. Besarnya nilai infiltrasi pada sel hamparan dihitung sebagai bagian dari volume air yang keluar dari sel hamparan.
8. Setelah air yang masuk dan air yang keluar diketahui, maka dapat dihitung volume air yang tertinggal. Volume air yang tertinggal merupakan selisih antara volume air yang masuk dan volume air yang keluar. Untuk mengetahui tinggi dari air yang tertinggal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 13.
9. Pada akhir pemodelan ini objek sel hamparan akan memberikan pesan (*message*) pada objek platform hamparan untuk menampilkan tinggi dari air tertinggal (H_{sel}) dan posisi koordinat sel (x, y, z).

Aplikasi Model Percontohan (*Mock Model*) pada Contoh Kasus

Sebuah hamparan dengan luas 1 Ha atau 10000 m² akan dibuat model percontohan. Hamparan tersebut memiliki ukuran 100 m x 100 m. Besarnya intensitas hujan adalah 20 mm/menit. Hamparan ini memiliki karakteristik permukaan seperti terlihat dalam Gambar 1 berikut :



Gambar 5. Model Percontohan Suatu Hamparan



(a). Jaringan dari Elemen – Elemen (b). Gambaran Contoh Hamparan dengan (Data-Cells) Jaringan dari Data-Cells

Gambar 6. Gambaran dari Sampel Hamparan dengan Jaringan Elemen Data-Sel Pada model percontohan (mock model) ini hamparan akan dibagi dalam sel – sel yang terdiri dari 9 elemen sel. Ukuran dari hamparan pada model percontohan ini adalah 100 m x 100 m, dan jumlah dari elemen sel $n_e = 9$ dan lebar sisi sel adalah $s = \frac{S}{\sqrt{n_e}} = \frac{100}{\sqrt{9}} = 33,33 m = 33333 mm$. Selanjutnya PDO akan menentukan NOE_R dan NOE_C dengan $NOE_R = NOE_C = \sqrt{9} = 3$.

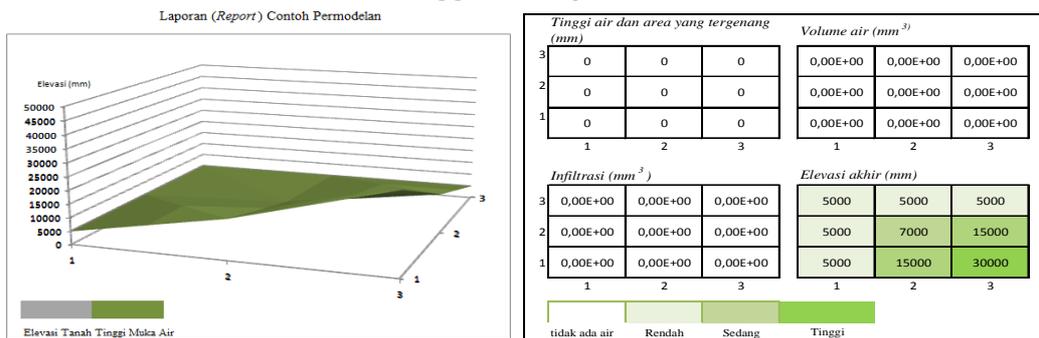
Hasil dari pembuatan jaring data sel ditunjukkan dalam Gambar 2(a) dan mewakili tiap bagian hamparan yang dijelaskan dalam Gambar 2(b).

Tabel 1 berikut menunjukkan atribut dari semua sel sel dan sebagai hasil akhir dari persiapan data. Data yang dicetak tebal akan dipakai dalam pemodelan.

Tabel 1. Atribut dari Objek Data Sel dan Hasil Akhir Persiapan Data

Inisial DC	z (mm)	C					A (mm ²)					C Rata-rata	nd					Rata-rata	P (mm)
		Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5		Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5		
11	5000	0,5	0,5	0,95	0,15	0,4	333,3333	333,333	133,333	305,962	5,15	0,46	0,02	0,02	0,013	0,2	0,8	0,07	20
12	5000	0,5	0,5	0,95	0,15	0,4	333,3333	333,333	133,333	310,117	0,99	0,46	0,02	0,02	0,013	0,2	0,8	0,07	20
13	5000	0,5	0,5	0,95	0,15	-	566,6667	366,667	90,6667	87,11	-	0,51	0,02	0,02	0,013	0,2	-	0,03	20
21	15000	0,15	0,4	0,5	0,5	-	19,4744	401,829	582,706	107,106	-	0,46	0,02	0,02	0,8	0,8	-	0,50	20
22	7000	0,15	0,4	0,5	-	-	229,1678	579,495	302,448	-	-	0,38	0,02	0,8	0,8	-	-	0,64	20
23	5000	0,5	0,5	0,95	0,15	0,4	333,3333	333,333	133,333	310,279	0,83	0,46	0,02	0,02	0,013	0,2	0,8	0,07	20
31	30000	0,5	0,5	0,5	-	-	392,4672	715,434	3,21	-	-	0,50	0,8	0,8	0,8	-	-	0,80	20
32	15000	0,15	0,4	0,5	-	-	286,4336	601,733	222,945	-	-	0,50	0,8	0,8	0,8	-	-	0,80	20
33	5000	0,5	0,5	0,95	0,15	0,4	333,3333	333,333	133,333	210,016	101,10	0,48	0,02	0,02	0,013	0,2	0,8	0,12	20

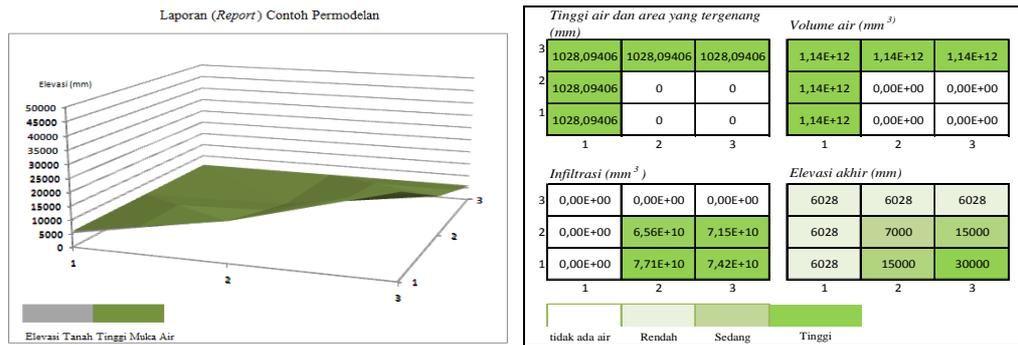
1. Hasil Model Percontohan Tinggi Air Hujan Pada t = 0 Menit



Gambar 7. Laporan (Report) Contoh Permodelan 9 Sel tinggi air dan air tergenang, volume air, infiltrasi dan elevasi akhir pada t = 0 menit

Total volume air yang tergenang = 0,00E+00 mm³
 Total volume air yang terinfiltrasi = 0,00E+00 mm³
 Total luas daerah yang tergenang = 0,00E+00 mm²

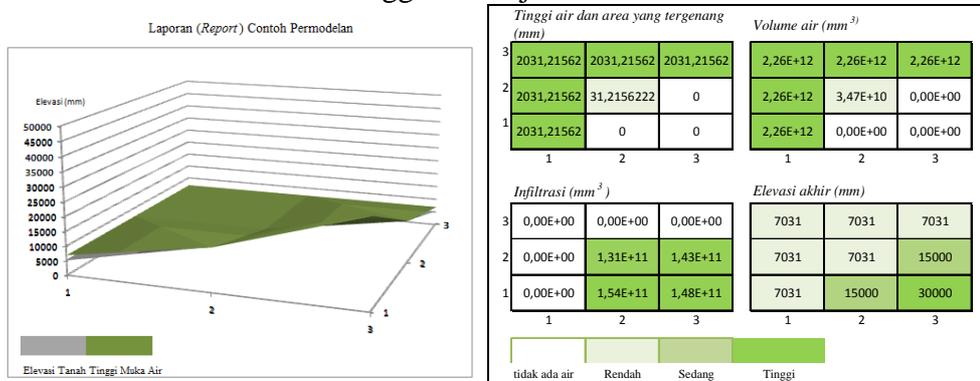
2. Hasil Model Percontohan Tinggi Air Hujan Pada t = 30 Menit



Gambar 8. Laporan (Report) Contoh Pemodelan 9 Sel tinggi air dan air tergenang, volume air, infiltrasi dan elevasi akhir pada t = 30 menit

Total volume air yang tergenang = 5,71E+12 mm³
 Total volume air yang terinfiltrasi = 2,88E+11 mm³
 Total luas daerah yang tergenang = 5,56E+09 mm²

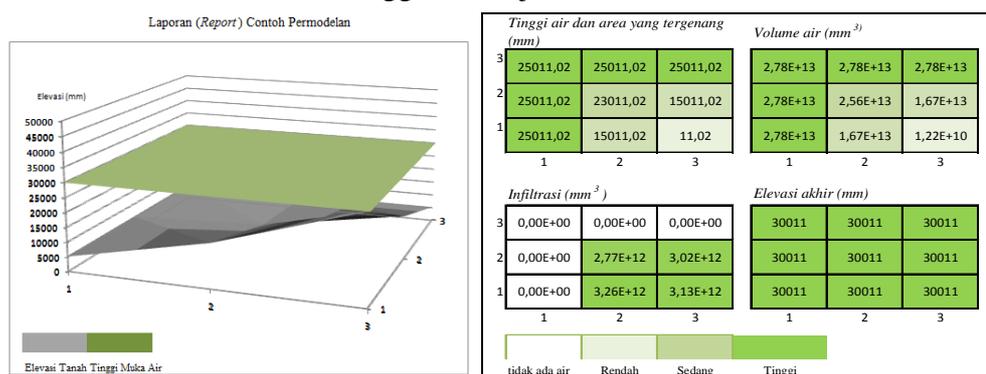
3. Hasil Model Percontohan Tinggi Air Hujan Pada t = 60 Menit



Gambar 9. Laporan (Report) Contoh Pemodelan 9 Sel tinggi air dan air tergenang, volume air, infiltrasi dan elevasi akhir pada t = 60 menit

Total volume air yang tergenang = 1,13E+13 mm³
 Total volume air yang terinfiltrasi = 5,77E+11 mm³
 Total luas daerah yang tergenang = 6,67E+09 mm²

4. Hasil Model Percontohan Tinggi Air Hujan Pada t = 1267 Menit



Gambar 10. Laporan (Report) Contoh Pemodelan 9 Sel tinggi air dan air tergenang, volume air, infiltrasi dan elevasi akhir pada t = 1267menit

Total volume air yang tergenang = 1,98E+14 mm³
 Total volume air yang terinfiltrasi = 1,22E+13 mm³
 Total luas daerah yang tergenang = 1,00E+10 mm²

Berdasarkan pada hasil model percontohan (*mock model*) suatu hamparan perkotaan di atas ada beberapa hal yang berhubungan dengan pemodelan tersebut yang perlu diperhatikan dan dibahas antara lain :

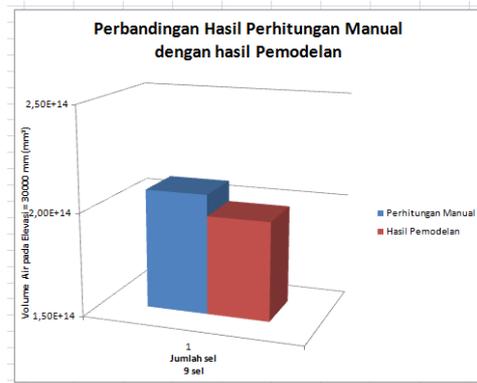
1. Keakuratan Replikasi oleh Model
 Untuk hamparan yang dimodelkan dengan jumlah sel yang lebih sedikit memiliki tingkat keakuratan yang lebih rendah. Hal ini terjadi karena karakteristik dari sel tersebut belum mewakili sifat hamparan yang sebenarnya disebabkan oleh pembagian sel dalam ukuran yang lebih besar sehingga ada sifat tertentu dari hamparan yang hilang atau terabaikan.
2. Hujan Lokal
 Pada faktanya hujan yang terjadi di suatu wilayah tidak merata ke seluruh wilayah tersebut. Dalam pemodelan ini hujan yang terjadi diasumsikan merata di seluruh hamparan. Oleh karena itu, peneliti menganjurkan untuk dilakukan penelitian lanjutan untuk mengembangkan penelitian ini dengan menggunakan hujan lokal dan intensitas yang bervariasi terhadap waktu.
3. Ketepatan Replikasi Hamparan yang Berhubungan dengan Koefisien Pengaliran (C) Sel Hamparan
 Satu sel hamparan yang memiliki C berbeda maka nilai C yang akan digunakan sebagai C sel adalah nilai C rata – rata dari sel tersebut. Sementara untuk sel hamparan yang berbeda, antara sel hamparan tinjauan dengan C hamparan tetangga nilai C yang digunakan adalah nilai C hamparan tinjauan. Hal ini tidak secara tepat merepresentasikan kondisi aktual hamparan karena nilai C yang digunakan hanya C sel hamparan tinjauan dengan mengabaikan nilai C sel hamparan tetangga.
4. Perbedaan Durasi Hujan dan Waktu Konsentrasi
 Namun dalam penelitian ini durasi atau lama hujan dianggap tidak sama dengan waktu konsentrasi (t_c). Hal ini dikarenakan durasi atau lama hujan digunakan untuk menentukan besarnya volume air akibat hujan dan waktu konsentrasi (t_c) digunakan untuk menentukan lamanya waktu aliran air hujan antara sel – sel hamparan.
5. Sel – sel hamparan memiliki bentuk yang sama
 Dalam pemodelan hamparan suatu wilayah perkotaan ini, sel – sel hamparan yang mewakili bagian dari suatu hamparan memiliki bentuk yang sama yakni berbentuk persegi. Dalam perhitungan volume air yang tergenang tidak dilakukan dengan menggunakan luasan penampang melintang dari genangan air. Untuk perhitungan volume air yang tergenang dilakukan dengan mengalikan tinggi air tergenang dengan luasan sel hamparan yang berbentuk persegi.

Perbandingan perhitungan total volume air pada model percontohan hamparan dengan perhitungan volume secara matematis sampai pada ketinggian 30000 mm. Volume air hasil pemodelan 9 sel pada ketinggian 30000 mm adalah $1,98E+14 \text{ mm}^3$

Tabel 2. Hasil Perhitungan Volume Secara Matematis Sampai Elevasi 30000 mm

Nama	Luas	Tinggi	Tinggi max	Δ Tinggi	Volume
1	1,90E+09	8000	30000	22000	4,18E+13
2	1,70E+09	5000	30000	25000	4,25E+13
3	6,24E+08	0	30000	30000	1,87E+13
4	1,47E+09	2000	30000	28000	4,12E+13
5	1,31E+09	7000	30000	23000	3,02E+13
6	1,49E+09	15000	30000	15000	2,24E+13
7	1,11E+09	20000	30000	10000	1,11E+13
8	3,92E+08	30000	30000	0	0,00E+00
	1,00E+10	TOTAL			2,08E+14

Tingkat keakuratan hasil pemodelan apabila dibandingkan dengan hasil perhitungan manual adalah sebesar 95,15 %.



Gambar 11. Grafik Perbandingan Hasil perhitungan Manual dengan Hasil Pemodelan

Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa pemodelan ini berhasil menghasilkan suatu konsep pemodelan respons hamparan terhadap hujan pada suatu wilayah perkotaan yang berorientasi objek.
2. Pemodelan ini terbagi dalam dua bagian besar yaitu :
3. (a) Bagian persiapan (*Preparatory Part*), yang dilakukan pada penelitian sebelumnya, dan (b) Bagian inti (*Core Part*), yang terdiri dari Kelas sel hamparan, Kelas objek jam (*Clock*), Kelas objek presipitasi, Kelas objek pengenalan tetangga dan Kelas objek platform hamparan.
4. Konsep pemodelan tersebut dapat mereplikasi aktivitas hidrologis suatu hamparan perkotaan sampai tingkat keakuratan tertentu. Pada konsep pemodelan yang telah dilakukan, semakin banyak jumlah sel atau semakin kecil ukuran sel maka hasil dari pemodelan tersebut akan lebih mendekati keadaan yang sebenarnya. Tingkat keakuratan hasil perhitungan untuk hasil pemodelan 9 sel adalah sebesar 95,15%.

Daftar Pustaka

Asdak, Chay. (2010). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.

Arbuckle, Daniel. (2010). *Phyton Testing: Mock Objects*. University of Southern California Press. California.

Hariyanto, Bambang. (2004). *Rekayasa Sistem Berorientasi Objek*. Informatika. Bandung.

Indiarto. (2010). *Hidrologi, Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*. Bumi Aksara. Jakarta.

M., Suripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Andi. Yogyakarta.

Pah, Jusuf J.S. (2013). *Preparatory Module for The Object-Oriented Modeling of Urban Terrain Hydrological response*. Jurnal Teknik Sipil.

Pah, Jusuf J.S. (2013). *An Object-Oriented Computer Software-Tool for Risk Analysis of Water Safety Plans*. Lap Lambert Academic Publishing. Saarbruken, Germany.

Soemarto, CD., & B. I. E. Dipl. H. (1987). *Hidrologi Teknik*. Usaha Nasional. Surabaya.

Lampiran 1 : Konstruksi Modul Pemodelan Berorientasi Objek Respons Hidrologi Hamparan Perkotaan

Kelas Sel_Hamparan

Sel_Hamparan	
Atri	Nama : 11

Sel_Hamparan	
but	
	Posisi_Koordinat “(0, 0, 5000)”
	Tipe_Permukaan “(C)”
	C = Koefisien Limpasan
	Lebar_sisi_sel “(s)”
Met ode1	Peroleh_Waktu()
	Waktu.Instan_IntervalWaktu (t)
Met ode2	Peroleh_presipitasi()
	Presipitasi.Tinggi_Presipitasi (h)
Met ode3	peroleh_elevasi_dan_jarak_tetangga()
	Pengenal_Tetangga.Posisi_Tetangga (Posisi_Koordinat “(x, y, z)”)
	Peroleh_Koordinat_Tetangga {N=(x, y, z) _N ; NE=(x, y, z) _{NE} ; E=(x, y, z) _E ; SE=(x, y, z) _{SE} ; S=(x, y, z) _S ; SW=(x, y, z) _{SW} ; W=(x, y, z) _W ; NW=(x, y, z) _{NW} }
	<p>Hitung_Jarak_Tetangga</p> $N = r_N = \sqrt{(x_N - x_0)^2 + (y_N - y_0)^2 + (z_N - z_0)^2};$ $NE = r_{NE} = \sqrt{(x_{NE} - x_0)^2 + (y_{NE} - y_0)^2 + (z_{NE} - z_0)^2};$ $E = r_E = \sqrt{(x_E - x_0)^2 + (y_E - y_0)^2 + (z_E - z_0)^2};$ $SE = r_{SE} = \sqrt{(x_{SE} - x_0)^2 + (y_{SE} - y_0)^2 + (z_{SE} - z_0)^2};$ $S = r_S = \sqrt{(x_S - x_0)^2 + (y_S - y_0)^2 + (z_S - z_0)^2};$ $SW = r_{SW} = \sqrt{(x_{SW} - x_0)^2 + (y_{SW} - y_0)^2 + (z_{SW} - z_0)^2};$ $W = r_W = \sqrt{(x_W - x_0)^2 + (y_W - y_0)^2 + (z_W - z_0)^2};$ $NW = r_{NW} = \sqrt{(x_{NW} - x_0)^2 + (y_{NW} - y_0)^2 + (z_{NW} - z_0)^2}$ <p>Elevasi dan jarak dalam pemodelan ini dalam satuan mm.</p>
Met ode4	Peroleh_Kemiringan_Tetangga()
	Hitung_Kemiringan_Tetangga

Sel_Hamparan	
	$\{ N = iN = \frac{z_0 - z_N}{r_N};$ $NE = iNE = \frac{z_0 - z_{NE}}{r_{NE}};$ $E = iE = \frac{z_0 - z_E}{r_E};$ $SE = iSE = \frac{z_0 - z_{SE}}{r_{SE}};$ $S = iS = \frac{z_0 - z_S}{r_S};$ $SW = iSW = \frac{z_0 - z_{SW}}{r_{SW}};$ $W = iW = \frac{z_0 - z_W}{r_W};$ $NW = iNW = \frac{z_0 - z_{NW}}{r_{NW}} \}$ <p style="text-align: center;">Kemiringan dalam satuan mm/mm</p>
Met	Hitung_Faktor_Waktu ()
ode5	$f_{wN} = \frac{t}{t_{cN}}; t_{cN} = t_{oN} + t_{dN};$ $t_{oN} = \left[\frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{nd}{\sqrt{S}} \right]^{0,167}; t_{dN} = 0$ $f_{wNE} = \frac{t}{t_{cNE}}; t_{cNE} = t_{oNE} + t_{dNE};$ $t_{oNE} = \left[\frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{nd}{\sqrt{S}} \right]^{0,167}; t_{dNE} = 0$ $f_{wE} = \frac{t}{t_{cE}}; t_{cE} = t_{oE} + t_{dE};$ $t_{oE} = \left[\frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{nd}{\sqrt{S}} \right]^{0,167}; t_{dE} = 0$ $f_{wSE} = \frac{t}{t_{cSE}}; t_{cSE} = t_{oSE} + t_{dSE};$ $t_{oSE} = \left[\frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{nd}{\sqrt{S}} \right]^{0,167}; t_{dSE} = 0$ $f_{wS} = \frac{t}{t_{cS}}; t_{cS} = t_{oS} + t_{dS};$ $t_{oS} = \left[\frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{nd}{\sqrt{S}} \right]^{0,167}; t_{dS} = 0$

Sel_Hamparan	
	$f_{wSW} = \frac{t}{t_{cSW}}; t_{cSW} = t_{oSW} + t_{dSW};$ $t_{oSW} = \left[\frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{nd}{\sqrt{S}} \right]^{0,167}; t_{dSW} = 0$ $f_{wW} = \frac{t}{t_{cW}}; t_{cW} = t_{oW} + t_{dW};$ $t_{oW} = \left[\frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{nd}{\sqrt{S}} \right]^{0,167}; t_{dW} = 0$ $f_{wNW} = \frac{t}{t_{cNW}}; t_{cNW} = t_{oNW} + t_{dNW};$ $t_{oNW} = \left[\frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{nd}{\sqrt{S}} \right]^{0,167}; t_{dNW} = 0$ <p style="text-align: center;">f_w dalam satuan menit/menit.</p>
Met ode6	<p>Hitung_FaktorPembagiAir() Jumlah_Dari_TetanggaPenerima {Rn = jumlah sel dengan kemiringan (i) negatif}</p> $W_s = \frac{1}{R_n}$
Met ode7	<p>Hitung_Air_Masuk() VolumeAir_Presipitasi { $V_w = s^2 d$ }</p> <p style="text-align: center;">VolumeAir_dari_TetanggaPemberi</p>
Met ode8	<p>Hitung_Air_Keluar() Dalam mm³/menit</p>
	<p>Ke_TetanggaPenerima :</p> $\{ Q_N = W_s(C_N d s^2) f_{WN};$ $Q_{NE} = W_s(C_{NE} d s^2) f_{WNE};$ $Q_E = W_s(C_E d s^2) f_{WE};$ $Q_{SE} = W_s(C_{SE} d s^2) f_{WSE};$ $Q_S = W_s(C_S d s^2) f_{WS};$ $Q_{SW} = W_s(C_{SW} d s^2) f_{WSW};$ $Q_W = W_s(C_W d s^2) f_{WW};$ $Q_{NW} = W_s(C_{NW} d s^2) f_{WNW};$
	Infiltrasi

Sel_Hamparan	
	$I_N = (1 - C_N)Q_N;$ $I_{NE} = (1 - C_{NE})Q_{NE};$ $I_E = (1 - C_E)Q_E;$ $I_{SE} = (1 - C_{SE})Q_{SE};$ $I_S = (1 - C_S)Q_S;$ $I_{SW} = (1 - C_{SW})Q_{SW};$ $I_W = (1 - C_W)Q_W;$ $I_{NW} = (1 - C_{NW})Q_{NW}$
Metode9	Hitung_AirTertinggal()
	$\text{AirTertinggal} = \text{AirMasuk} - \text{AirKeluar}$ $\text{Tinggi_dari_AirTertinggal} = \text{AirTertinggal}/s^2$
Metode10	AirTertinggal()
	Hasilkan Tinggi_dari_AirTertinggal (H_{sel})
Metode11	Tampilkan_Tinggi_dari_Air_Tertinggal
	PlatformHamparan. Tampilkan_Tinggi_dari_Air_Tertinggal {(x, y, z, H_{cell})}

Jam

Jam	
Atribut	Nama:
	Waktu_Mulai “(hh:mm)”
Metode1	Instan_IntervalWaktu()
	Hasilkan Instant_TimeInterval t = 1
	Dalam Menit
	Hasilkan t
Metode2	Waktu_Instan

Jam	
	Hasil Waktu_Instan{(hh:mm)+t}
	Hasilkan (hh:mm)+t

Presipitasi

Presipitasi	
Atribut	Nama:
	Posisi (x, y, z)
Metode1	Peroleh_Waktu()
	Jam.Instan_IntervalWaktu (t)
Metode2	Presipitasi()
	{Presipitasi (“x”, “y”, “z”, data presipitasi)}
	Peroleh_Tinggi_Presipitasi h (dalam mm), pada lokasi (x, y, z)
	Hasilkan h

Pengenal Tetangga

Pengenal_Tetangga	
Atribut	Nama:
Metode1	Posisi_Tetangga()
	Sel_Hamparan.Posisi_Koordinat (x,y,z)
	Menentukan_Koordinat_Tetangga
	$N = (x_N = x; y_N = y + s; z_N = \text{data elevasi})$
	$NE = (x_{NE} = x + s; y_{NE} = y + s; z_{NE} = \text{data elevasi})$
	$E = (x_E = x + s; y_E = y; z_E = \text{data elevasi})$
	$SE = (x_{SE} = x + s; y_{SE} = y - s; z_{SE} = \text{data elevasi})$
	$S = (x_S = x; y_S = y - s; z_S = \text{data elevasi})$
	$SW = (x_{SW} = x - s; y_{SW} = y - s; z_{SW} = \text{data elevasi})$
	$W = (x_W = x - s; y_W = y; z_W = \text{data elevasi})$

Pengenal_Tetangga	
	$NW = (x_{NW} = x - s; y_{NW} = y + s; z_W = \text{data elevasi})$
	Hasilkan (N (x; y; z) _N ; NE (x; y; z) _{NE} ; E (x; y; z) _E ; SE (x; y; z) _{SE} ; S (x; y; z) _S ; SW (x; y; z) _{SW} ; W (x; y; z) _W ; NW (x; y; z) _{NW} ;
Metode2	Menentukan_Nama_Tetangga
	N = (N)
	NE = (NE)
	E = (E)
	SE = (SE)
	S = (S)
	SW = (SW)
	W = (W)
	NW = (NW)
	Hasilkan ((N); (NE); (E); (SE); (S); (SW); (W); (NW))

Platform Hampanan

Platform_Hampanan	
Atribut	Nama: 11
Metode1	Peroleh_Waktu_Instan()
	Jam.Waktu_Instan {(hh:mm)+t}
	Plot Waktu_Instan {(hh:mm) +t}
Metode2	Peroleh_Tinggi_dari_AirTertinggal()
	Sel_Hampanan.Tinggi_dari_Air {(x, y, z, H _{Sel})}
	Tampilkan {(x, y, z, H _{Sel})}

*