

LAPORAN AKHIR
SKEMA PENELITIAN DASAR UNGGULAN PERGURUAN TINGGI
(PDUPT)



**PENENTUAN WAKTU BANJIR (T_c) DARI PROSES HUJAN, LIMPASAN DAN
INFILTRASI DI LAHAN UNTUK MENDUKUNG DESAIN EKODRAINASE
PERKOTAAN**

Tahun ke 1 dari rencana 3 tahun

Ketua/Anggota
Tim

Dr. Donny Harisuseno, ST., MT – NIDN. 0027027503
Dr. Dian Noorvy Khaerudin, ST., MT – NIDN. 0019037602
Dr. Riyanto Haribowo, ST., MT – NIDN. 0024047701

Dibiayai oleh:
Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan
Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi
Sesuai dengan Kontrak Penelitian
Nomor : 054/SP2H/LT/DRPM/2018, tanggal 12 maret

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
NOVEMBER 2018

HALAMAN PENGESAHAN

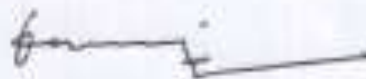
Judul	: PENENTUAN WAKTU BANJIR (Tc) DARI PROSES HUJAN, LIMPASAN DAN INFILTRASI DI LAHAN UNTUK Mendukung DESAIN EKODRAINASE PERKOTAAN
Peneliti/Pelaksana	
Nama Lengkap	: Dr DONNY HARISUSENO, S.T, M.T
Perguruan Tinggi	: Universitas Brawijaya
NIDN	: 0027027503
Jabatan Fungsional	: Lektor Kepala
Program Studi	: Teknik Pengairan
Nomor HP	: 085755640021
Alamat surel (e-mail)	: donnyhari@ub.ac.id
Anggota (1)	
Nama Lengkap	: Dr DIAN NOORVY KHAERUDIN S.T, M.T
NIDN	: 0019037602
Perguruan Tinggi	: Universitas Tribhuwana Tungga Dewi
Anggota (2)	
Nama Lengkap	: Dr RIYANTO HARIBOWO S.T, M.T
NIDN	: 0024047701
Perguruan Tinggi	: Universitas Brawijaya
Institusi Mitra (jika ada)	
Nama Institusi Mitra	: -
Alamat	: -
Penanggung Jawab	: -
Tahun Pelaksanaan	: Tahun ke 1 dari rencana 3 tahun
Biaya Tahun Berjalan	: Rp 65,625,000
Biaya Keseluruhan	: Rp 65,625,000

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik



(Dr. Ir. Pitosewo, MT) 
NIP/NIK 197000212000121001

Kota Malang, 12 - 11 - 2018
Ketua,



(Dr DONNY HARISUSENO, S.T, M.T)
NIP/NIK 197502271999031001

Menyetujui,
Ketua LPPM UB



(Dr. K. Bambang Sutopo, MSc Agr)
NIP/NIK 196207191987011001

RINGKASAN

Perencanaan drainase mempunyai beberapa paramater penting dalam mendesain drainase perkotaan, diantaranya adalah limpasan, intensitas hujan, waktu konsentrasi dan infiltrasi. Waktu konsentrasi menjadi paramater penting dalam mendesain drainase perkotaan, karena dengan waktu konsentrasi, air yang mengalir dari mulai turunnya hujan adalah dapat maksimum pada limpasannya dan minimum untuk infiltrasi. Sehingga penentuan waktu konsentrasi menjadi penting pada saat mendesain drainase perkotaan yaitu untuk menghindari adanya *over desain* dan *under desain*. Penelitian ini adalah bertujuan untuk mendapatkan waktu konsentrasi dari hubungan hujan, limpasan dan infiltrasi pada proses hujan dan debit di lahan drainase perkotaan.

Hubungan antara hujan, limpasan, dan infiltrasi menunjukkan hubungan keseimbangan air pada sistem hidrologi. Pengaruh variabel infiltrasi pada proses fenomena hidrologi keseimbangan air dan menjadi satu-satunya faktor kehilangan pada sistem drainase perkotaan, maka perlu adanya peninjauan faktor kehilangan infiltrasi dengan satuan panjang per waktu.

Universitas Brawijaya sedang menggalakkan pembangunan wilayah yang ramah lingkungan. Beberapa penempatan Sumur Tampungandi beberapa titik di lingkungan UB telah dibangun sebagai upaya menerapkan *ecodrainage*. Berkaitan dengan hal itu, permasalahan yang timbul adalah ada beberapa parameter penting yang mendasari untuk merencanakan drainase yang berwawasan lingkungan belum terakomodir dan direncanakan sebagai suatu sistem sehingga dikuatirkan terjadinya *over dan under design*.

Penelitian ini menggunakan alat Simulator Hujan. Alat Simulator Hujan ini merupakan alat potensi sarana Jurusan Teknik Pengairan. Alat Simulator Hujan yang ada di Teknik Pengairan dapat menjadi model penyelesaian kondisi di alam terutama pada proses hujan limpasan dan infiltrasi yang terjadi di *urban drainage* untuk konsep *urban hydrology* sebagai bagian dari peta jalan penelitian dari Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Alat ini dapat mendeskripsikan proses hujan limpasan dan infiltrasi melalui model proses hujan dan limpasan serta dapat menentukan model laju infiltrasi dengan cara pengamatan metode *sprinkler* atau penyiraman. Media yang digunakan adalah pasir kuarsa. Media ini digunakan untuk mengendalikan nilai infiltrasi yang nilainya akan berpengaruh dan berubah bila menggunakan media tanah. Pasir kuarsa mereduksi kekurangan kemungkinan kesalahan dalam penelitian yang dilakukan di labolatorium pada alat simulator hujan.

Tujuan **tahun I** penelitian adalah mendapatkan **pengembangan model waktu banjir** dari proses hujan, limpasan dan infiltrasi pada kecepatan aliran di lahan dianggap **sama (tanpa parit, cabang aliran)** pada setiap titik serta dilakukan pada durasi hujan yang menerus atau melebihi waktu konsentrasi dan pada durasi hujan yang lebih pendek dari waktu konsentrasi.

Penelitian ini menghasilkan waktu konsentrasi dari hasil pengamatan limpasan di lahan dengan pengaruh variasi hujan, variasi kemiringan, variasi luas dan variasi kejenuhan awal tanah. Pada kejenuhan awal media yang sama, dan hujan yang diberikan sama semakin miring lahan maka waktu konsentrasi cenderung akan semakin lama. Waktu yang dibutuhkan air hujan untuk mencapai kondisi konstan akan semakin lama.. Penentuan waktu konsentrasi dilakukan dengan metode *modus statistic multi*. Nilai T_c pada kondisi konstan dianalisis menggunakan awal waktu yang sering muncul dan nilai maksimum limit. Berdasarkan hasil penentuan T_c dengan metode ini maka akan menjadi dasar dalam penentuan model T_c pada lahan. Model waktu konsentrasi yang menjadi dasar pemikiran adalah berdasarkan konsep keseimbangan air. Keseimbangan air di lahan mempunyai parameter berpengaruh yang berasal dari kondisi fisik tanah, jenis tanah, kekasaran permukaan tanah, kemiringan lahan, luas areal lahan serta tinggi hujan. Penelitian ini mempunyai tujuan untuk mengetahui juga setiap variable yang berpengaruh terhadap T_c .

PRAKATA

Segala puji kehadiran Allah SWT atas ijin dan ridho Nya dapat terselesaikan Laporan Akhir hasil penelitian Skim Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi yang berjudul “Penentuan Waktu Banjir (T_c) pada Proses Hujan Limpasan dan Infiltrasi pada Lahan untuk Mendukung Desain Ekodrainase Perkotaan”.

Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi ini direncanakan untuk dilaksanakan tiga tahun. Tahun pertama adalah penentuan waktu konsentrasi di lahan dari jumlah limpasan. Tujuan dari penelitian tahun pertama ini adalah untuk mengetahui pengaruh kemiringan, hujan, luas lahan, terhadap jumlah limpasan dan waktu konsentrasi.

Penelitian ini dilakukan di labolatorium Hidrologi menggunakan alat Simulator Hujan. Alat Simulator Hujan merupakan potensi sarana Jurusan Teknik Pengairan. Alat Simulator Hujan yang ada di Teknik Pengairan dapat menjadi model penyelesaian kodisi di alam terutama pada proses hujan limpasan dan infiltrasi yang terjadi di *urban drainage* untuk konsep *urban hydrology* sebagai bagian dari peta jalan penelitian dari Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Laporan akhir ini merupakan salah satu laporan untuk memenuhi penyelesaian hibah penelitian yang telah didanai dengan Surat Keputusan nomor: dan berdasarkan kontrak: Nomor : 054/SP2H/LT/DRPM/2018, tanggal 12 Maret

Terima kasih kami sampaikan kepada:

1. DP2M yang telah mendanai
2. LPPM Universitas Brawijaya yang telah memfasilitasi terselenggaranya penelitian ini
3. Fakultas Teknik dan Jurusan Teknik Pengairan yang telah memberikan ruang untuk dapat berkarya dan mendukung penelitian ini
4. Universitas Tribhuwana Tungadewi atas kerjasamanya dalam pelaksanaan penelitian ini

Peneliti menyadari dalam penelitian ini dan dalam menyajikan laporan ini masih ada kekurangannya. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan terutama dalam menanggulangan bencana akibat dari kesalahan perencanaan.

November 2018

Ketua Peneliti

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	2
HALAMAN SAMPULRINGKASAN	3
PRAKATA	4
DAFTAR TABEL	6
DAFTAR GAMBAR	7
DAFTAR LAMPIRAN	8
BAB 1. PENDAHULUAN	9
1.1 Latar Belakang Masalah	9
1.2 Inovasi dan Keluaran yang Ditargetkan	10
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1 Hubungan Hujan, Limpasan dan Infiltrasi	11
2.2 Waktu Konsentrasi (Tc)	13
2.3 Peta Jalan Penelitian	14
BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	15
3.1 Tujuan Penelitian	15
3.2 Manfaat Penelitian	16
BAB 4. METODE PENELITIAN	16
4.1 Pengukuran Limpasan dengan Alat <i>Rainfall Simulator</i>	16
4.2 Rancangan Penelitian	19
BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI	20
5.1 Hasil Kalibrasi Alat	21
5.2 Hasil Pengukuran Limpasan di Alat Simulator Hujan	24
5.3 Penentuan Waktu Konsentrasi pada Hasil Pengamatan hubungan Hujan- Limpasan	26
Penentuan Tc pada Luasan A2	31
5.4 Hasil Pengaruh antar Variabel	35
5.5 Hasil pembahasan setiap pengamatan	40
5.6 Luaran yang Dicapai	43
BAB 6. RENCANA TAHAP SELANJUTNYA	47
BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN	49
7.1 Kesimpulan	49
7.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LA	50
MPIRAN	50

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Rancangan Penelitian hubungan Hujan, Limpasan dan Infiltrasi– dengan	19
Tabel 2 Pengukuran kalibrasi alat ukur hujan dengan pengukuran gelas ukur	23
Tabel 3 Data Hasil Pengamatan 1% kemiringan, dan 1 liter/menit hujan	27
Tabel 4 Data Hasil Pengamatan 1% kemiringan, dan 1 liter/menit hujan, A2.....	32
Tabel 5 Rekapitulasi hasil Keluaran:.....	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Skema kecepatan aliran air di lahan pada semua titik tidak sama	12
Gambar 2 Skema kecepatan aliran air di lahan pada semua titik sama	12
Gambar 3 Keseimbangan Air pada <i>Overland Flow</i>	12
Gambar 4 Kerangka Konsep Penelitian (State of the art)	13
Gambar 5 Peta Jalan Penelitian (Road Map Penelitian)	14
Gambar 6 Alat Rainfall Simulator S12-MKII Hydrology System, Armfield UK	17
Gambar 7 Daftar alur penelitian tahap 1, 2 dan 3 Penelitian PDUPT	18
Gambar 8 Proses Pengukuran di Labolatorium	21
Gambar 9 Alat simulator hujan tampak atas dengan ukuran 1.17 x 0,97 x 0,3 meter	22
Gambar 10 Alat simulator hujan tampak samping dengan ukuran 1.17 x 1 x 0,3 meter	22
Gambar 11 Grafik hasil kalibrasi pengukur	24
Gambar 12 Kurva Limpasan dan kemiringan 2,3,4%	25
Gambar 14 Pengolahan data penentuan Tc Hasil Pengamatan di Labolatorium	30
Gambar 15 Hasil Pengamatan A2, 3%, 1 Liter/menit hujan	37
Gambar 16 Hasil Pengamatan A2, 3%, 2 liter/menit hujan	38
Gambar 17 Hasil Pengamatan A2, 3%, 3 - 2,5 liter/menit hujan	38
Gambar 18 A1, 1 liter/menit Hujan, 1% Kemiringan Lahan	39
Gambar 19 Hasil Pengamatan A1, 1 liter/menit Hujan, 1% lahan	39
Gambar 20 Hasil running Hujan – Limpasan pada 1 liter, 3% kemiringan	40
Gambar 21 Hasil running hujan dan Limpasan pada 1 liter, 2% kemiringan	41
Gambar 22 . Hujan 1liter, kemiringan 1%	41
Gambar 23 Hujan 1 liter, kemiringan 2%	42
Gambar 24 Hujan 1 liter, kemiringan 3%	42

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Artikel Ilmiah Seminar Nasional	51
Lampiran 2 Artikel Ilmiah Internasional Iahr-Apd	53
Lampiran 3 Submit Artikel Internasional.....	54
Lampiran 4 Draft Sub Buku Ajar :	5
Lampiran 5 Surat Pernyataan Plagiat	18

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Perencanaan drainase selama ini masih banyak yang menggunakan konsep konvensional karena lahan masih banyak tersedia, perubahan iklim dan pengaruh tuntutan manusia akan perubahan tata guna lahan masih seimbang (Noorvy, 2013). Namun kini, rasio kelahiran penduduk dan kematian penduduk besar, dan tuntutan akan kebutuhan perumahan, fasilitas, sarana dan prasarana penduduk pun semakin meningkat, sehingga konsep konvensional sudah tidak memungkinkan lagi untuk menampung kelebihan air. Kelebihan air yang dibuang ke badan sungai sudah mempunyai kondisi yang tidak memungkinkan lagi terjangkau oleh air dengan rekayasa kemiringan lahan yang dibuat. Hal ini memerlukan suatu perencanaan drainase yang berwawasan lingkungan (ekodrainase). Konsep ini mengarahkan air hujan yang jatuh ke permukaan lahan tidak langsung terbuang ke saluran dan terbuang bahkan terjadi luapan, namun air hujan ditampung dalam suatu tampungan (sumur tampungan) untuk menunda waktu pengaliran air, meresap ke dalam tanah sebagai recharge air tanah, dan mengoptimalkan kapasitas saluran drainase yang kini semakin terbatas.

Perencanaan drainase memerlukan penanganan yang menyeluruh sebagai suatu sistem drainase, yaitu prasarana yang terdiri dari kumpulan sistem saluran didalam kota yang berfungsi mengeringkan lahan perkotaan dari banjir atau genangan akibat hujan dengan cara mengalirkan kelebihan air permukaan ke badan air melalui sistem saluran-saluran tersebut.

Debit air yang mengalir dipermukaan bumi adalah merupakan pengaliran hujan yang jatuh ke permukaan bumi menjadi debit. Hujan yang jatuh ke permukaan bumi sebagian akan menjadi aliran permukaan dan sebagian akan meresap ke dalam tanah. Pengaruh intensitas hujan terhadap limpasan permukaan sangat tergantung pada laju infiltrasi, maka akan terjadi limpasan permukaan sejalan dengan peningkatan intensitas curah hujan. Intensitas hujan berpengaruh pada debit maupun volume limpasan.. Fenomena keseimbangan air ini terjadi pada konsep drainase perkotaan.

Aliran air yang merupakan persamaan dinamis antara kecepatan dengan waktu, jarak dengan waktu, dan debit terhadap waktu. Air hujan yang jatuh ke permukaan bumi akan melimpas, meresap, dan menguap. Air hujan yang meresap ke dalam tanah adalah infiltrasi. Infiltrasi dan evaporasi menjadi faktor kehilangan air pada siklus hidrologi, dan infiltrasi menjadi satu-satunya faktor kehilangan di lahan drainase perkotaan (Richard H. McCuen, 1984)

Hubungan antara kecepatan dan waktu pada proses mengalirnya air di lahan perkotaan adalah berbeda-beda tergantung pada penutup lahan, kondisi lahan, dan besarnya masukan yaitu hujan (intensitas hujan). Perilaku air yang mengalir menjadi fungsi waktu.

Catatan hubungan variabel aliran air dengan perubahan waktu adalah menjadi rekaman kondisi daerah aliran air sehingga menjadi dasar dalam perencanaan drainase perkotaan. Air mengalir saat mulai hujan di titik mulai air mengalir adalah menjadi masukan beban air tersebut untuk menjalani prosesnya hingga menuju keluarannya.

Proses mengalirnya air hujan yang jatuh ke dalam tanah tersebut mengalami berbagai macam perlakuan dan hal itu bergerak dengan seiring berjalannya waktu. Dalam hal ini adalah adanya waktu yang maksimum terjadi pada aliran air dengan kondisi perilaku permukaan tanah. Waktu tersebut adalah waktu konsentrasi banjir, yaitu waktu yang diperlukan air mengalir sejak mulai tiba hujan hingga pengaliran air yang maksimum mencapai keluarannya. Keluarannya adalah dapat berupa aliran air di saluran, lahan, dan pipa. Desain drainase menjadi suatu sistem maka T_c menjadi paramater penting dalam penentuan debit limpasan sebagai dasar perhitungan desain.

Persamaan yang dikembangkan oleh Kirpich, waktu konsentrasi adalah merupakan fungsi dari panjang saluran dan kemiringan lahan di saluran. Persamaan waktu konsentrasi metode Kirpich ini adalah untuk aliran di saluran. Kemudian, menurut Richard, 1984, waktu konsentrasi untuk drainase dapat dilakukan pada saluran, pipa dan pada suatu lahan. Waktu konsentrasi banjir pada lahan dengan kondisi lahan di Indonesia akan di kaji dalam penelitian ini. Kesalahan yang terjadi adalah menempatkan perhitungan T_c tidak sesuai peruntukannya. Misal persamaan T_c saluran namun digunakan untuk pengaliran di lahan atau di talang atap bangunan, hal ini menjadikan desain tidak tepat, yaitu dapat menjadi *over design* atau *under design*.

1.2 Inovasi dan Keluaran yang Ditargetkan

Inovasi dari penelitian ini adalah didapatkan model persamaan waktu Konsentrasi banjir yang dibangun dari hubungan hujan, limpasan dan infiltrasi untuk mendukung desain ekodrainase (drainase yang berwawasan lingkungan). Model persamaan waktu konsentrasi banjir (T_c) yang dibuat adalah dengan menggunakan variabel yang berpengaruh terhadap proses limpasan dan infiltrasi berlangsung.

Model persamaan Waktu Konsentrasi Banjir(T_c) pada aliran di lahan drainase serta Pola Drainase Aliran di Lahan dengan kondisi lahan, iklim dan kondisi tanah di Indonesia.

Keterbaruan

Keterbaruan dari penelitian ini adalah 1) mendapatkan waktu banjir dari aliran limpasan di lahan untuk mendesain sumur tampungan 2) Pola aliran drainase akibat dari hujan yang beragam dan tata guna lahan yang berbeda 3) mendapatkan prosentasi efisiensi banjir dengan adanya desain sumur tampungan dari aliran limpasan yang terjadi dengan hujan yang beragam. 4) mendapatkan prosentasi reduksi air yang meresap pada kondisi tanah dan diketahui pula kualitas air (kandungan air dalam tanah) dari aliran air di lahan 5) mendapatkan metode untuk penentuan waktu konsentrasi di model persamaan limpasan dan infiltrasi 6) mendapatkan pengaruh kemiringan lahan dan panjang lahan terhadap ukuran alat pengukur infiltrasi

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hubungan Hujan, Limpasan dan Infiltrasi

Prinsip keseimbangan air limpasan dihitung dari persamaan dasar sebagai berikut: (Anonim, USCS, 1959)

$$O = S - F \quad (1)$$

Dimana :

O = volume dari limpasan

S = volume curah hujan

F = volume infiltrasi

Apabila dipertimbangkan bahwa infiltrasi bergantung terhadap waktu maka infiltrasi dinyatakan dengan:

$$W = \frac{S-O}{T} = \frac{F}{T} \quad (2)$$

W = Laju Infiltrasi , T = waktu

Proses infiltrasi yang terjadi diamati dengan terjadinya proses limpasan dan jumlah hujan yang berpengaruh terhadapnya, yaitu dengan mengamati besarnya jumlah hujan yang terjadi sebagai air yang masuk dan limpasan dari daerah aliran ditampung dan diukur dan selisihnya sebagai air yang meresap adalah infiltrasi (Wilson, 1993:76).

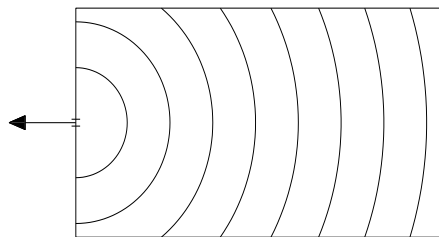
Konsep keseimbangan massa aliran dengan anggapan input sama dengan output ditambah dengan tampungan, diaplikasikan pada daerah sederhana. Permukaan lahan dianggap sebagai suatu saluran yang mempunyai lebar selebar lahan tersebut. Tinggi limpasan yang terjadi sama dengan tinggi air disaluran tersebut. Besarnya gesekan dan tahanan pada dinding dan dasar saluran dianalogikan dengan tata guna lahan yang ada di daerah itu.

Fenomena limpasan permukaan ditunjukkan dengan teori keseimbangan air pada persamaan kontinuitas berikut ini: (Bedient, 2008)

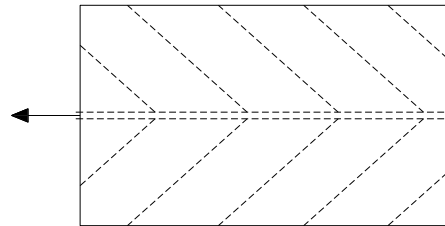
Curah Hujan nyata = genangan air + evaporasi + infiltrasi + limpasan permukaan
 Genangan air di atas permukaan termasuk dalam jumlah limpasan permukaan, dan evaporasi dapat diabaikan, maka didapatkan curah hujan efektif yang nilainya sama dengan limpasan permukaan sebagai berikut:

Curah hujan efektif = curah hujan nyata – (infiltrasi + genangan permukaan)

Berdasarkan hal itu untuk curah hujan efektif, distribusi waktu menjadi penting untuk diketahui. Hujan yang jatuh di atas permukaan lahan akan mengalir dengan dua kondisi kecepatan tergantung pada kondisi di atas permukaan, yaitu kondisi dengan kecepatan di setiap titik pada luasan lahan adalah sama, dan kondisi dengan kecepatan di setiap titik pada luasan lahan adalah tidak sama. Kondisi yang pertama yaitu kecepatan di setiap titik sama dapat dilihat pada gambar 2. Dan kondisi aliran dengan kecepatan yang tidak sama di setiap titik, gambar 3:

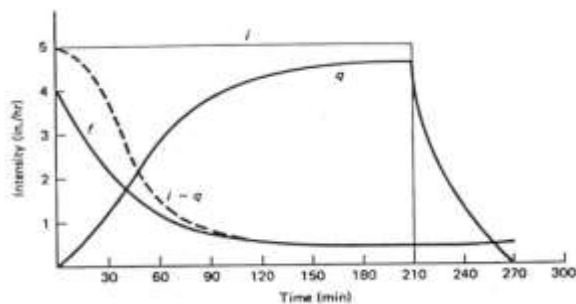


Gambar 2 Skema kecepatan aliran air di lahan pada semua titik **sama**



Gambar 1 Skema kecepatan aliran air di lahan pada semua titik **tidak sama**

Kecepatan aliran air di lahan akan dipengaruhi oleh perlakuan dari lahan dan kemiringan serta karakteristik tanahnya. (Ben-Zvi, 2012). Keseimbangan air pada hubungan hujan dan infiltrasi dapat ditunjukkan pada Gambar 4.:



Gambar 3 Keseimbangan Air pada *Overland Flow*
 Sumber : Gupta (1989, p.87)

Q = limpasan(inci/hr)

I = hujan(inci/hr)

f = infiltrasi(inci/hr)

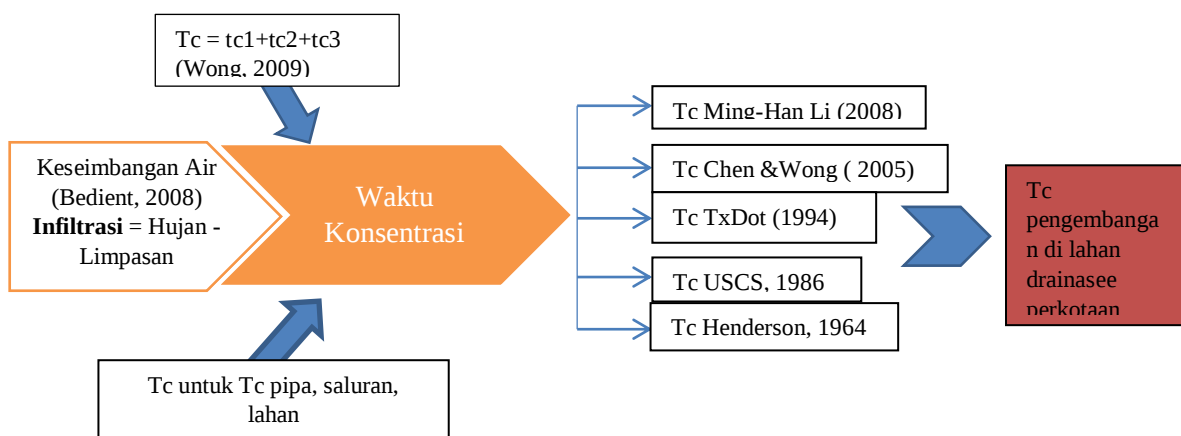
t = waktu(menit)

Untuk hujan yang seragam, lama waktu sama dengan waktu keseimbangan, yang laju alirannya sama dengan laju penambahan hujan (Fang, 2007). Banjir maksimum terjadi bila hujan intensitas maksimum dengan durasi lebih kecil dari waktu konsentrasi. Waktu konsentrasi akan terjadi dengan munculnya genangan di atas permukaan tanah pada kondisi kapasitas infiltrasi yang maksimum. Sehingga dengan konsep keseimbangan air, air yang melimpas akan terjadi beriringan dengan air yang meresap (infiltrasi). Dan pada kondisi jenuh air, air yang melimpas akan mengalami kondisi konstan seiring dengan kondisi jenuh air dalam tanah yang meresap (terinfiltrasi). Kondisi waktu yang terjadi ini adalah kondisi waktu konsentrasi yaitu pada saat limpasan air konstan maksimum, dan infiltrasi adalah konstan minimum.

2.2 Waktu Konsentrasi (Tc)

Waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan untuk mencapai titik outlet oleh air hujan yang jatuh di tempat terjauh dari outlet. Untuk hujan yang seragam, lama waktu ini sama dengan waktu keseimbangan, yang laju alirannya sama dengan laju penambahan hujan. Banjir maksimum terjadi bila intensitas hujan maksimum dengan durasi lebih kecil dari waktu konsentrasi. Waktu konsentrasi terpengaruh oleh adanya karakteristik daerah alirannya, sehingga dalam penentuan desain debit rencana waktu konsentrasi memerlukan kalibrasi koefisiennya (Safarina, 2008).

Berikut adalah kerangka konsep penelitian (*State of the art*) Waktu Konsentrasi:

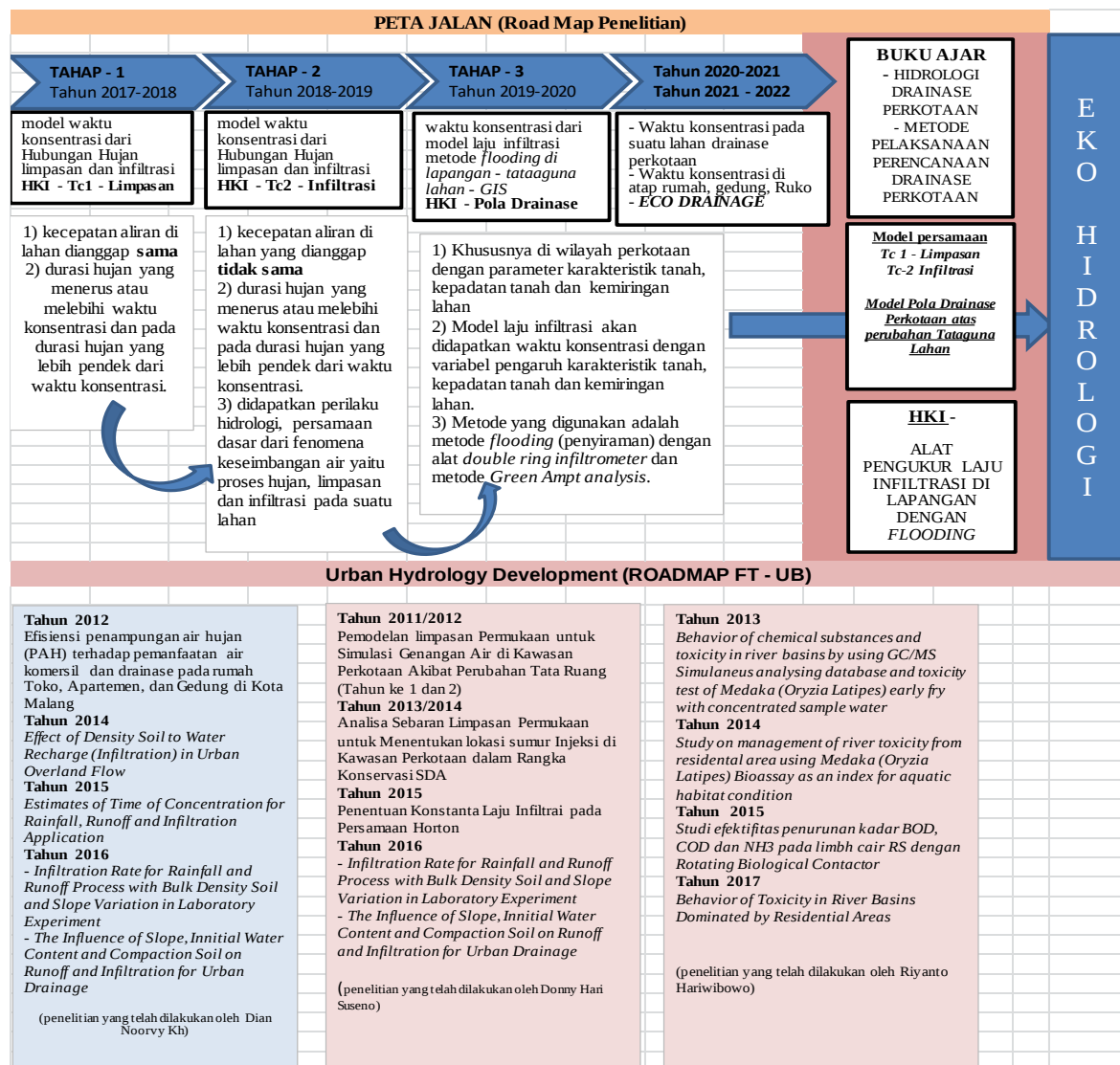


Gambar 4 Kerangka Konsep Penelitian (State of the art)

Waktu konsentrasi yang dihasilkan pada lahan drainase perkotaan di Indonesia masih belum terwakili oleh persamaan yang sudah ada dari penelitian-penelitian sebelumnya. Pada lahan perkotaan, peranan variabel infiltrasi yang juga merupakan fungsi waktu adalah penting. Pada lahan perkotaan, infiltrasi menjadi satu-satunya kehilangan air. Dalam teori gelombang kinematik, persamaan ini melibatkan adanya konsep keseimbangan air antara air masuk dan air yang keluar.

2.3 Peta Jalan Penelitian

Berikut adalah Peta Jalan Penelitian (Road Map) Penelitian ini:



Gambar 5 Peta Jalan Penelitian (Road Map Penelitian)

Penelitian ini setiap tahun menghasilkan Tc yang merupakan verifikasi rumusan Tc pada umumnya, dan menyesuaikan dengan kondisi di Indonesia yaitu misal Tc metode Kirpich, Benzvi, dll. Penelitian pada dasarnya mendapatkan nilai Tc di lahan sebagai

pendukung dalam menentukan debit banjir rancangan pada perencanaan drainase. Drainase seharusnya sudah menjadi suatu sistem sehingga perencanaannya adalah terintegritas antara drainase lahan dan saluran sehingga drainase ini tersistem dan perencanaannya adalah tepat. Kelanjutan dari penelitian yaitu pada tahun 2021 – dst mempunyai tujuan untuk mendapatkan T_c pada berbagai kondisi aliran, diantaranya adalah T_c dari Atap rumah, gedung dll yang menjadi kelanjutan dalam hal ini adalah mendukung program RIP FT UB, *Ecodrainage*.

BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian

Kajian ini bertujuan untuk mendapatkanteori dasar dalam menentukan waktu konsentrasi banjir yang terjadi pada kejadian limpasan dan infiltrasi dengan konsep fenomena keseimbangan air, yaitu hujan sebagai input, infiltrasi sebagai satu-satunya kehilangan yang terjadi di lahan perkotaan dan limpasan dalam bentuk model persamaan Waktu Konsentrasi Banjir di lahan drainse perkotaan.

Proses hujan, limpasan, dan infiltrasi merupakan hubungan aliran dari berjalannya waktu. Waktu yang berjalan akan menghasilkan jumlah dan kejadian debit aliran permukaan yang berbeda-beda, juga dengan kejadian resapan aliran yang terjadi. Ketiganya, hujan, limpasan daninfiltrasi berjalan bersamaan pada proses yang sama. Proses tersebut akan didapatkan waktu saat naik, waktu saat puncak (banjir), dan waktu saat turun atau air menyusut dan konstan pada suatu bentuk hidrograf. Hal ini akan banyak dipengaruhi oleh banyak perlakuan yang terjadi.

Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan pengembangan model persamaan waktu banjir (T_c) di lahan drainase pada beberapa kondisi perlakuan lahan. Penemuan yang didapatkan adalah adanya pola aliran di lahan hasil perlakuan lahan sebagaimana yang terjadi di lapangan, yaitu tataguna lahan.

Selanjutnya, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan waktu yang terjadi saat mulai hujan, mulai melimpas, saat konstan, dan saat hujan berhenti. Waktu banjir (T_c) yang terjadi pada proses hubungan hujan, limpasan, dan infiltrasi, yaitu pada kondisi limpasan konstan dan kondisi laju infiltrasi konstan. Model laju infiltrasi di lahan drainase didapat dengan pengembangan konsep hidrograf hujan limpasan dengan alat simulator hujan di labolatorium, dan diverifikasi dengan model infiltrasi dengan alat *Turftec* dengan perlakuan kepadatan tanah di lapangan sehingga penelitian ini dilakukan untuk 3 tahun pelaksanaan penelitian.

3.2 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian “Penentuan Waktu Banjir (T_c) dari Proses Hujan Limpasan dan Infiltrasi pada Lahan untuk Mendukung Desain Ekodrainase Perkotaan” adalah dibidang IX Teknologi Manajemen Penganggulangan Kebencanaan, sebagai berikut penjabarannya:

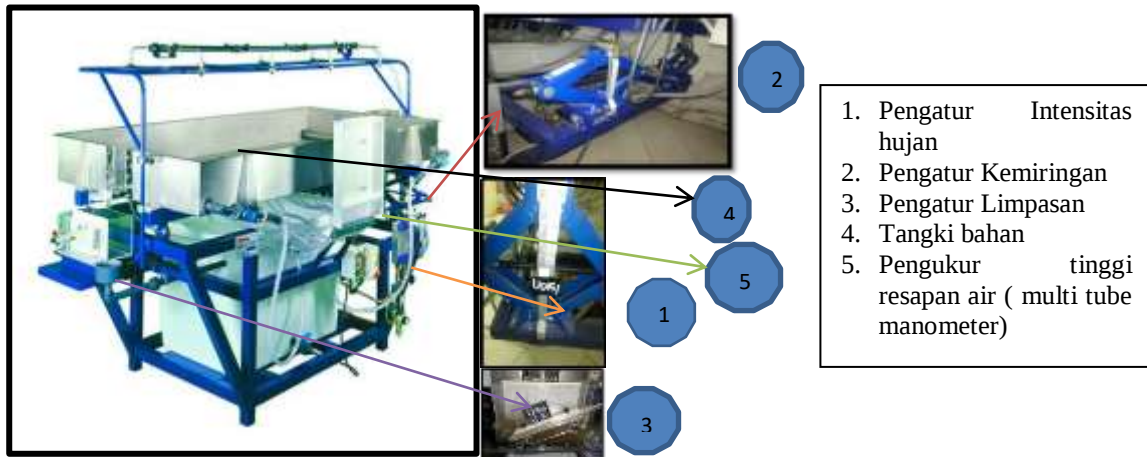
1. Untuk pengembangan ilmu, adalah dapat memperkaya khasanah keilmuan yang berkaitan dengan pengembangan model waktu banjir di lahan drainase perkotaan yang dibangun dari persamaan limpasan dan infiltrasi, yaitu dengan beberapa kondisi lahan, kepadatan tanah karena adanya pengaruh tata guna lahan dimana waktu konsentrasi adalah untuk memprediksi debit rencana lahan drainase perkotaan.
2. Manfaat kontribusi bagi *stakeholder* adalah mendapatkan persamaan waktu banjir yang terevaluasi dan terkalibrasi dalam perencanaan saluran drainase dari saat mulai hujan turun di atas permukaan tanah hingga meresap, mulai mengalir dan mengalir dalam saluran. Sedangkan untuk pemerintah daerah sebagai acuan pengelolaan daerah perkotaan terutama hidrologi perkotaan dengan menerapkan konsep drainase berwawasan lingkungan (*eco drainage*) yang sinergis dan tersistem.

BAB 4. METODE PENELITIAN

Laju infiltrasi mempunyai nilai yang berbeda-beda tergantung dari beberapa pengaruh. Nilai laju infiltrasi yang berbeda-beda tersebut akan mempengaruhi besarnya limpasan permukaan. Dan pada suatu konsep keseimbangan air, hujan yang jatuh ke permukaan lahan akan mengalami resapan infiltrasi sebagai satu-satunya kehilangan air di drainase, limpasan permukaan.

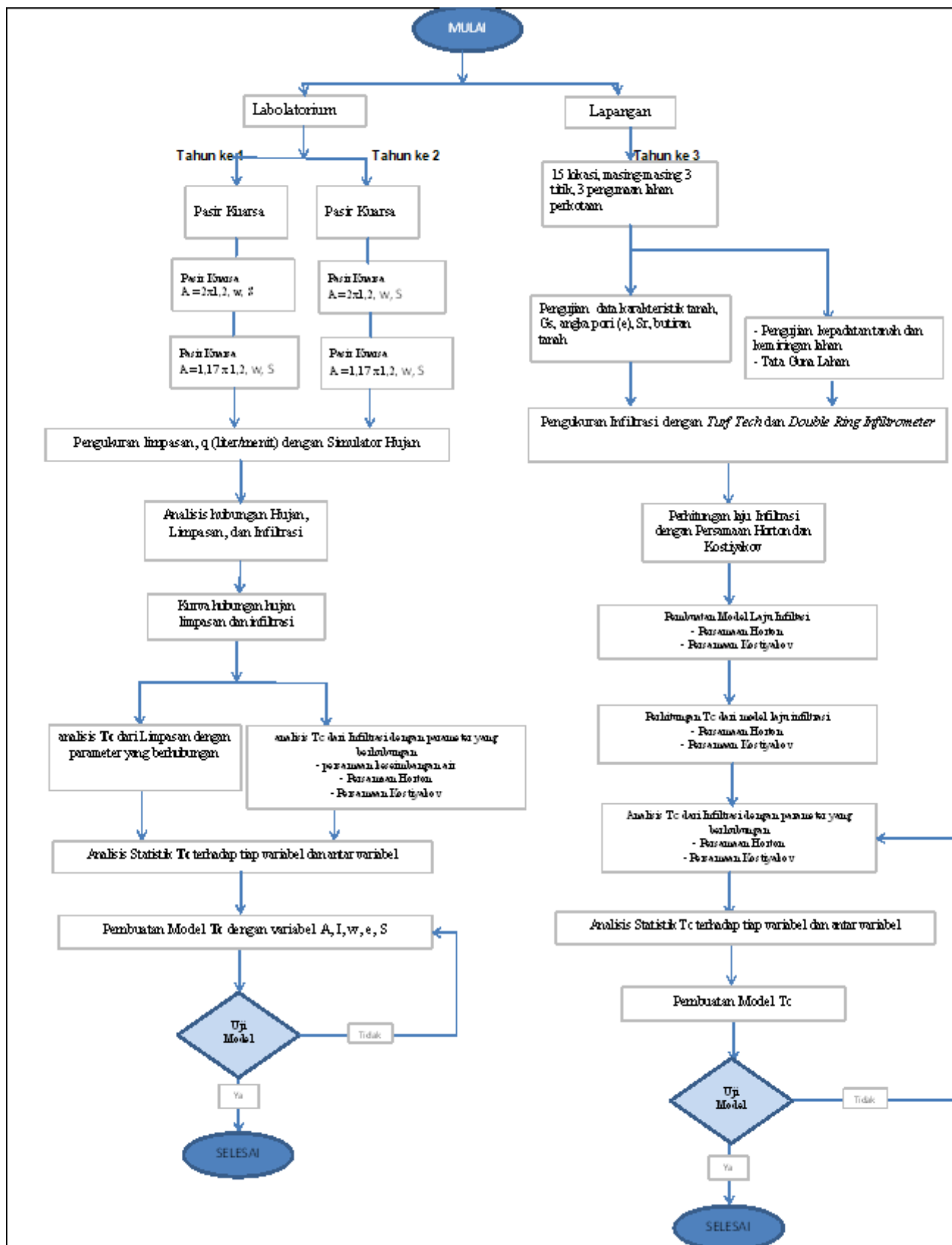
4.1 Pengukuran Limpasan dengan Alat *Rainfall Simulator*

Persiapan ini meliputi pengamatan mengenai persiapan alat yaitu cara kerja alat-alat yang digunakan untuk percobaan di Laboratorium Hidrologi, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Pengairan. Alat-alat yang digunakan untuk percobaan adalah *Rainfall Simulator* yang digunakan untuk mengukur debit limpasan permukaan.



Gambar 6 Alat Rainfall Simulator S12-MKII Hydrology System, Armfield UK

Peralatan ini memiliki tangki uji dengan ukuran 2 x 1.2 x 0.3 meter. Pada bagian atasnya tangki ini memiliki *nozzle* yang bisa mengatur besarnya butiran hujan yang jatuh. Tangki uji ini juga memiliki dua buah pipa berpori bagian dasar, yang kemudian ke dua tangki pengukuran aliran. Gambar 9 adalah diagram alir penelitian untuk tahun 1,2, dan 3 :

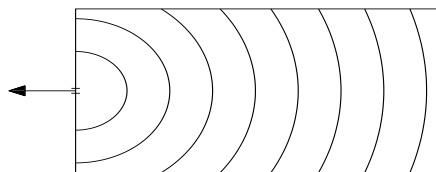


Gambar 7 Daftar alur penelitian tahap 1, 2 dan 3 Penelitian PDUPT

4.2 Rancangan Penelitian

Penelitian Tahap 1 dan 2 dilakukan di laboratorium Hidrologi Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya. Alat yang digunakan adalah Rainfall Simulator S12-MKII Hydrology System, Armfield UK. Penelitian akan dilakukan pada media pasir kuarsa dan tanah yang dipadatkan maksimum. Volume tanah dan pasir ditaruh di tangki dengan ukuran 2 x 1,2 x 0,3 meter.

Tahun penelitian ke-1 : penelitian tahap 1 akan dilakukan pada kondisi kecepatan yang dianggap **sama**, sketsa alirannya sebagai berikut:



Skema kecepatan aliran air di lahan pada semua titik **sama**

Tabel 1 Rancangan Penelitian hubungan Hujan, Limpasan dan Infiltrasi– dengan

Pasir kuarsa

A (m ²)	Hujan I (lt/min)	Kadar air (w) awal	S	A (m ²)	Hujan I (lt/min)	Kadar air (w) awal	S
2 x 1,2	1,2,3	W1	1%	0,97x1,1	1	W1	1%
			2%				2%
			3%				3%
		W2	1%			W2	1%
			2%				2%
			3%				3%
		W3	1%			W3	1%
			2%				2%
			3%				3%
			1%				1%
			2%				2%
			3%				3%

Percobaan penelitian dilakukan pada pasir kuarsa dengan 2 luasan (A), 3 (hujan liter/menit), 3 (kadar air), dan 3 kemiringan. Sehingga data yang akan diperoleh adalah 27 data yang akan diolah dan dijadikan model waktu konsentrasi.

Pelaksanaan pengambilan data dilakukan kurang lebih 120 menit setiap pengamatan. Sehingga dapat diketahui proses mulai melimpas, melimpas, hingga konstan dan mulai turun.

BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

Hujan dan limpasan adalah merupakan fenomena kejadian hidrologi pada siklus hidrologi. Fenomena kejadian hidrologi ini menyangkut kondisi keseimbangan air. Keseimbangan air yang dimaksud adalah antara hujan limpasan dan infiltrasi yang terjadi pada drainase perkotaan.

Penentuan waktu konsentrasi pada drainase perkotaan di lahan menjadi kendala karena konsep keseimbangan air tersebut berlaku. Konsep keseimbangan air yaitu adalah factor hujan, limpasan, dan infiltrasi. Masing-masing factor tersebut mempunyai peran yang mempengaruhi aliran di atas permukaan lahan. Dan hal ini menjadi factor penentu waktu konsentrasi yang terjadi. Salah satunya adalah infiltrasi. Infiltrasi merupakan fenomena yang kompleks (S, Selker and Parlange 2007). Beberapa factor yang mempengaruhi jumlah infiltrasi adalah kadar air awal, dan kondisi fisik tanah. Selain factor tersebut ada factor yang juga mempengaruhi infiltrasi dalam proses hujan dan limpasan pada drainase perkotaan di lahan, yaitu kepadatan tanah (Khaerudin and Agus Suharyanto 2017).

Berdasarkan hal ini, maka penelitian ini menjadi permasalahan bila dilakukan di lapangan karena factor infiltrasi yang kompleks tersebut, selain itu pula terkendala dalam mengkalibrasi alat dan validasi data untuk menentukan jumlah hujan dan limpasannya. Serta terkendala dalam penentuan waktu konsentrasi pengamatan.

Penelitian yang berhubungan dengan konsep hujan dan limpasan dalam menentukan waktu konsentrasi telah banyak dilakukan. Penelitian dilakukan di lapangan dan di laboratorium. Seperti yang dilakukan oleh (M, X, S, & M, 2000), yang menghadirkan pengamatan proses hujan dan limpasan pada skala laboratorium dengan variable kemiringan lahan dan hidrolik tanah. Hujan diperlakukan tidak sama atau bervariasi.

Salah satu metode pengukuran waktu konsentrasi di lahan adalah penelitian dari (Wong, et al., 1997). Plot terdiri dari empat teluk pengujian dan satu ruang koleksi. Seluruh plot terbuat dari beton bertulang. Dimensi setiap ruang pengujian adalah 25 m panjang dengan lebar 1 m. Dalam penelitian ini, kemiringan yang digunakan 2%.

Daerah drainase seragam sebagai model lahan yaitu dengan menggunakan pasir kuarsa yang diletakkan pada luasan box dengan asumsi kecepatan aliran dianggap sama dan infiltrasi yang sama. Perlakuan yang dilakukan adalah dengan kemiringan yang bervariasi namun dengan hujan yang konstan. Selanjutnya dicobakan pula pada kondisi tingkat kejenuhan air yang berbeda.

Perlakuan dengan memiringkan yang berbeda adalah untuk menjawab permasalahan apakah dengan kemiringan yang berbeda akan menghasilkan jumlah limpasan yang sama atau berbeda walaupun dengan hujan yang sama, media infiltrasi yang sama. Pemilihan dan penentuan jumlah limpasan dengan merata-rata atau dengan memilih nilai yang sering muncul dan berturut-turut, dari hasil pengamatan eksperimen, adalah menjadi jawaban atas pertanyaan bahwa bagaimanakah menentukan nilai jumlah limpasan konstan sebagai penentu waktu konsentrasi.

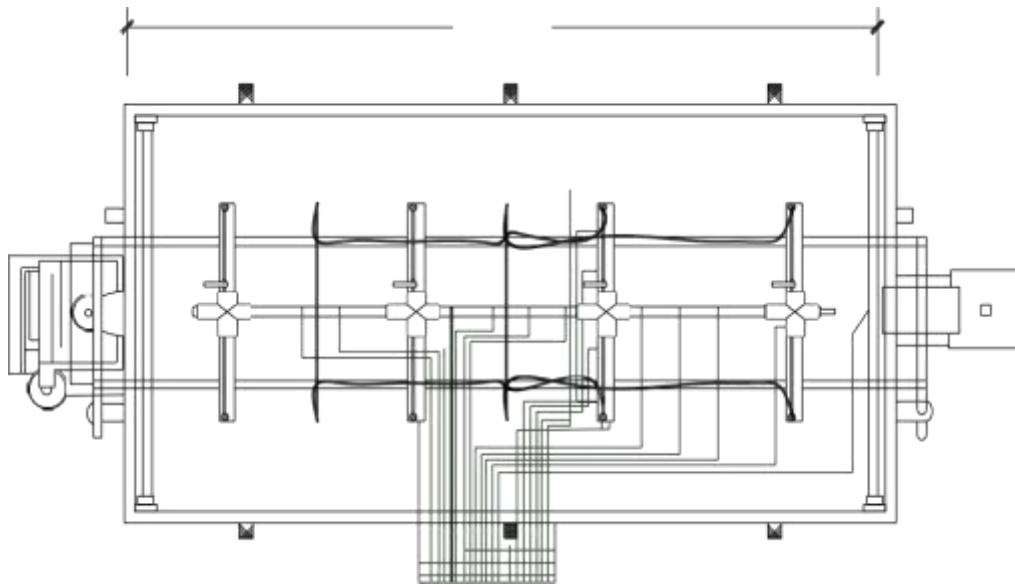
5.1 Hasil Kalibrasi Alat



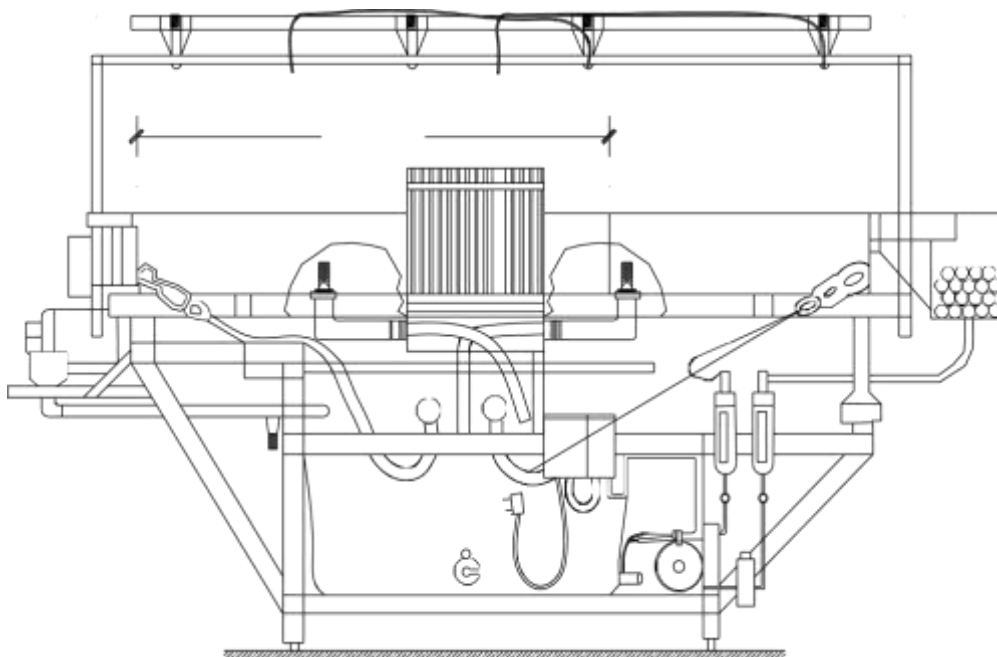
Gambar 8 Proses Pengukuran di Labolatorium

Proses pengaturan hujan 2 liter/menit pada alat *rainfall simulator* dengan cara memutar kran sampai angka menunjukkan 2 liter/menit. Setelah hujan keluar dari *spray nozzle* akan terjadi debit limpasan. Pengukuran debit limpasan pada alat *rainfall simulator*. Pengolahan hasil pengamatan pada *Rainfall Simulator* dengan menghubungkan antara intensitas hujan, limpasan permukaan, dan durasi waktu.

Berikut adalah sketsa alat di laboratorium:



Gambar 9 Alat simulator hujan tampak atas dengan ukuran 1.17 x 0,97 x 0,3 meter



Gambar 10 Alat simulator hujan tampak samping dengan ukuran 1.17 x 1 x 0,3 meter

Hasil Kalibrasi:

Kalibrasi alat dilakukan terhadap *nozzle* yaitu 1) pengaturan jumlah butiran hujan yang jatuh terhadap alat mengatur intensitas hujan, 2) Alat pengukur debit limpasan. Kalibrasi dilakukan pada tangki kosong dan pada tangki yang berisi pasir kuarsa.

Kalibrasi pada 8 *nozzle* dilakukan dengan memasang gelas ukur ukuran 1 liter yang kemudian menyetel alat pengukur intensitas hujan. Gelas ukur ditadahkan ke *nozzle* sebanyak 2 gelas ukur secara bersamaan dan di ulang sebanyak 3 kali bergantian untuk setiap *nozzle*. Intensitas hujan yang terbaca di alat adalah 2 liter/menit. Berdasarkan *manual book* alat, 2 liter /menit dikonversikan menjadi:

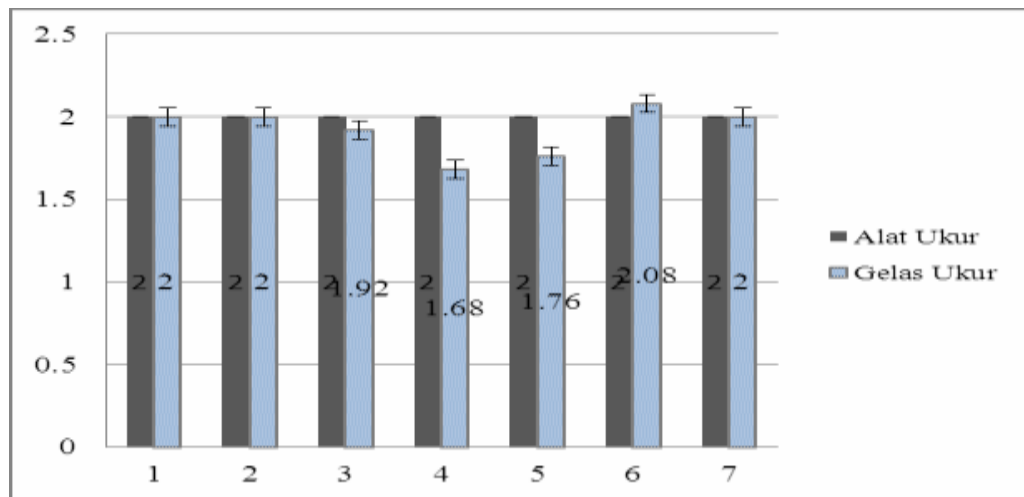
Intensitas hujan (mm/jam) = ((aliran rata-rata hujan (liter/menit) x (50/3 – luas areal (m²)) x (5/18)).

Maka intensitas hujan dalam (mm/jam) = (2 liter/menit x (50/3 – 1,135)) x (5/18). Intensitas hujan (mm/jam) = 2 x 16,316 x 0,28 = 9,136 mm/jam.

Hujan 9,136 mm/jam adalah termasuk sebagai hujan normal (Triatmodjo, Hidrologi Terapan, 2008). Hasil kalibrasi intensitas hujan alat pengukur terhadap gelas ukur mempunyai kesalahan relatif 4%, dapat dilihat pada Gambar 5.10.

Tabel 2 Pengukuran kalibrasi alat ukur hujan dengan pengukuran gelas ukur

No	Alat Ukur	Gelas Ukur	Kesalahan
1	2	2	0
2	2	2	0
3	2	1.92	4
4	2	1.68	16
5	2	1.76	12
6	2	2.08	-4
7	2	2	0



Gambar 11 Grafik hasil kalibrasi pengukur

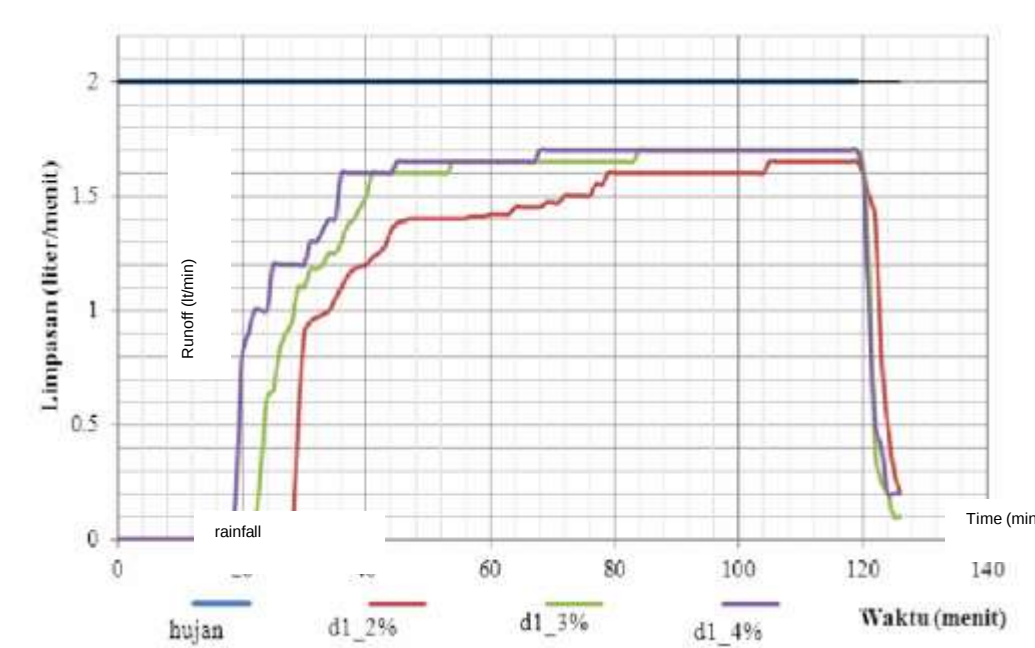
Pengukur debit limpasan dilakukan dengan memasang gelas ukur pada outlet pelimpah, alat pengukur yang terbaca, dan terhadap pembacaan komputer dari software alat. Hasil pembacaan di alat pengukur debit dan gelas ukur dan hasil software adalah mendekati sama, yaitu dengan kesalahan relatif 2,31%.

5.2 Hasil Pengukuran Limpasan di Alat Simulator Hujan

Debit limpasan terjadi jika hujan yang jatuh lebih besar dari kapasitas infiltrasi pada tanah. Pada penelitian ini aliran permukaan terjadi pada pasir yang tidak jenuh air dan pasir jenuh air.

1. Aliran jenis pertama terjadi pada kondisi tidak jenuh. Pada kasus ini pasir dalam keadaan kering dengan penambahan air yang di masukkan pada alat *Rainfall Simulator*.
2. Aliran jenis kedua terjadi jika pasir sudah berair setelah percobaan pertama. Percobaan dilakukan dengan memvariasikan kondisi pasir yang berair, yaitu dengan mendinginkan dan mendrain air dari simulator hujan selama 2 jam (80%) dan selama 2 hari atau 48 jam (40%).

Berikut adalah hasil pengamatan debit limpasan dari mulai tidak jenuh hingga jenuh dan hujan dihentikan pada waktu per menit:



Gambar 12 Kurva Limpasan dan kemiringan 2,3,4%

Gambar di atas menunjukkan proses hujan dan limpasan selama 120 menit. Kurva menunjukkan waktu mulai melimpas, waktu naik, dan waktu melimpas puncak dan waktu mulai konstan dan kemudian konstan. Dari hasil pengamatan di laboratorium yang ditunjukkan dengan kurva tersebut, waktu mulai melimpas semakin curam lahan maka waktu mulai melimpas akan semakin cepat. Dan waktu untuk mulai konstan semakin curam lahan, waktu mencapai konstan akan semakin cepat.

Proses hujan dan limpasan menggunakan konsep keseimbangan air dengan infiltrasi sebagai satu-satunya faktor kehilangan pada aliran lahan permukaan. Kurva hujan, limpasan dan infiltrasi menunjukkan 3 waktu kejadian proses hujan, limpasan dan infiltrasi. Ketiga waktu itu adalah waktu hujan mulai turun dan terjadi peresapan air yaitu infiltrasi, waktu mulai melimpas yaitu pada saat infiltrasi lebih kecil dari hujan dan hingga pada titik pertemuan garis antara kurva limpasan dan kurva infiltrasi, selanjutnya adalah waktu infiltrasi dan limpasan telah mencapai kondisi konstan.

Hubungan limpasan dan infiltrasi pada gambar di atas menunjukkan pula suatu titik pertemuan pada suatu waktu tertentu dimana limpasan dan infiltrasi terjadi pada debit yang sama. Karena hujan yang dialiri adalah 2 liter/menit, maka ditunjukkan waktu pada saat limpasan dan infiltrasi seimbang yaitu masing-masing 1,00 liter/menit. Semakin curam kemiringan, maka titik pertemuan pada waktu yang semakin cepat.

5.3 Penentuan Waktu Konsentrasi pada Hasil Pengamatan hubungan Hujan- Limpasan

Penentuan waktu konsentrasi pada data hasil pengamatan adalah sangat sulit. Sebagai langkah awal dalam penentuan ini adalah waktu mulai konstan, maka penentuan waktu konsentrasi ditetapkan dengan cara sebagai berikut:

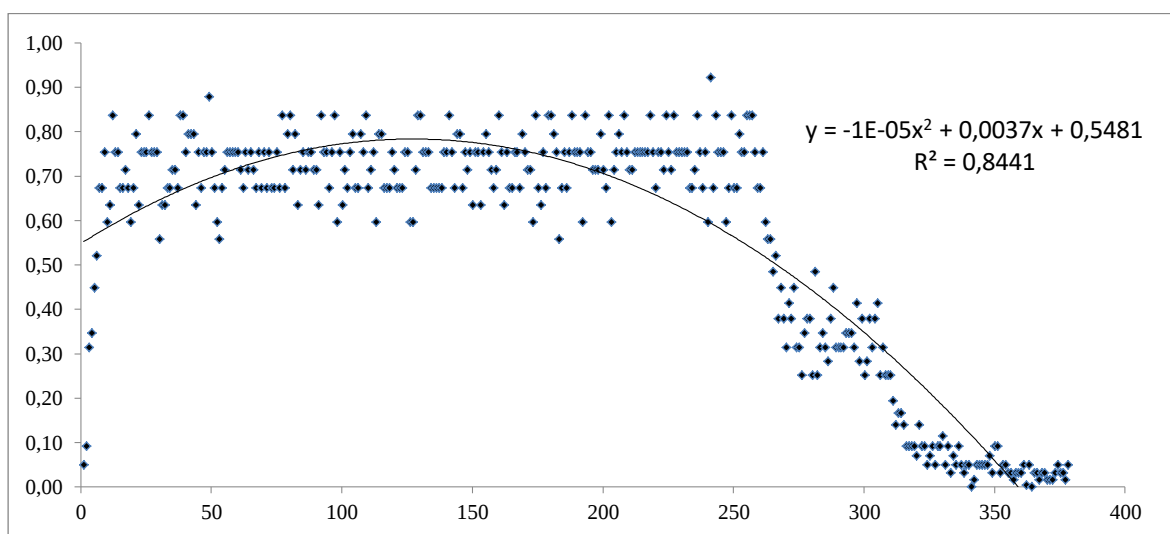
1. Hitung nilai Modus Statistik
2. Jumlah limpasan ditentukan dengan mendapatkan nilai hasil modus dengan frekwensi yang paling banyak dari setiap 20 data pengamatan
3. Bila didapatkan nilai frekwensi yang lebih sedikit dari awal waktu yang lain yaitu masih 3 nilai yang muncul maka masih belum dianggap waktu T_c , namun bila telah ditemukan 2 nilai dan 1 nilai terlewati selanjutnya adalah nilai modus dan seterusnya maka nilai awal dari waktu mulai konstan tersebut adalah T_c
4. Waktu konsentrasi ditentukan dengan nilai maksimum dari diferensial persamaan polynomial yang dapat dibentuk, gambar 13 A. Persamaan untuk luasan A1, hujan 1 lter dan kemiringan 1 % adalah sebagai berikut: $Y = -1E - 05x^2 + 0,0037x + 0,5481$

$$\text{Diferensialnya menjadi : } Y = \frac{dy}{dx} = \frac{d(-1E-05x^2+0,0037x+0,5481)}{dx} = 2E-05x+0,0037$$

Dengan $0 = \frac{dy}{dx}$, yaitu posisi maksimum nilai waktu (sumbu x) terhadap Y (limpasan), maka $0 = -2x0,00001 \times X + 0,0037$,

$= 0,00002 X = 0,0037$, $X = 0,0037/0,00002$ maka X (yang menunjukkan waktu $\rightarrow T_c$) maka waktu T_c ditunjukkan pada pengamatan urutan ke 185. Urutan ke 185 tersebut menunjukkan T_c pada limpaasn 0,753 liter/menit dan T_c waktu banjir 30 menit 40 detik.

Berikut selanjutnya perhitungan penentuan T_c pada luasan A1:



Gambar 13 A. Kurva Polinomial untuk emnentukan waktu puncak = banjir = T_c

Dan dapat dilihat pada table 3 berikut, bahwa nilai 0,753 liter/menit untuk urutan pengamatan nomor 185 adalah pada waktu 30 menit 40 detik. Hal ini didukung pula dengan tingkat kepercayaan terhadap data pengamatan adalah $84,41\% = R^2$

Tabel 3 Data Hasil Pengamatan 1% kemiringan, dan 1 liter/menit hujan, pada Luasan A1

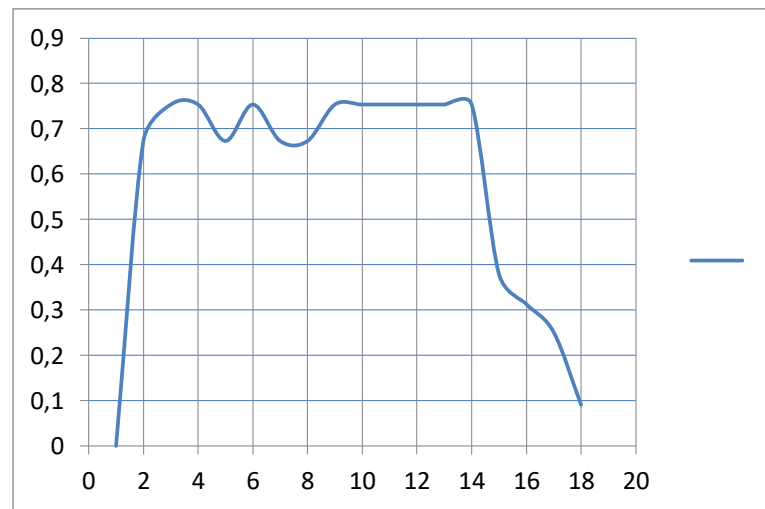
Elapsed Time [min]	Rainfall Flow Rate [l/min]	Flow Rate Over Weir [l/min]	Elapsed Time [min]	Rainfall Flow Rate [l/min]	Flow Rate Over Weir [l/min]	Elapsed Time [min]	Rainfall Flow Rate [l/min]	Flow Rate Over Weir [l/min]
00:00	1,0	0,049	20:00	1,0	0,673	40:00	1,0	0,921
00:10	1,0	0,091	20:10	1,0	0,673	40:10	1,0	0,673
00:20	1,0	0,313	20:20	1,0	0,673	40:20	1,0	0,836
00:30	1,0	0,345	20:30	1,0	0,753	40:30	1,0	0,753
00:40	1,0	0,448	20:40	1,0	0,753	40:40	1,0	0,753
00:50	1,0	0,520	20:50	1,0	0,595	40:50	1,0	0,753
01:00	1,0	0,673	21:00	1,0	0,595	41:00	1,0	0,595
01:10	1,0	0,673	21:10	1,0	0,713	41:10	1,0	0,673
01:20	1,0	0,753	21:20	1,0	0,836	41:20	1,0	0,836
01:30	1,0	0,595	21:30	1,0	0,836	41:30	1,0	0,673
01:40	1,0	0,634	21:40	1,0	0,753	41:40	1,0	0,673
01:50	1,0	0,836	21:50	1,0	0,753	41:50	1,0	0,794
02:00	1,0	0,753	22:00	1,0	0,753	42:00	1,0	0,753
02:10	1,0	0,753	22:10	1,0	0,673	42:10	1,0	0,753
02:20	1,0	0,673	22:20	1,0	0,673	42:20	1,0	0,836
02:30	1,0	0,673	22:30	1,0	0,673	42:30	1,0	0,836
02:40	1,0	0,713	22:40	1,0	0,673	42:40	1,0	0,836
02:50	1,0	0,673	22:50	1,0	0,673	42:50	1,0	0,753
03:00	1,0	0,595	23:00	1,0	0,753	43:00	1,0	0,673
03:10	1,0	0,673	23:10	1,0	0,753	43:10	1,0	0,673
03:20	1,0	0,794	23:20	1,0	0,836	43:20	1,0	0,753
03:30	1,0	0,634	23:30	1,0	0,753	43:30	1,0	0,595
03:40	1,0	0,753	23:40	1,0	0,673	43:40	1,0	0,557
03:50	1,0	0,753	23:50	1,0	0,794	43:50	1,0	0,557
04:00	1,0	0,753	24:00	1,0	0,794	44:00	1,0	0,484
04:10	1,0	0,836	24:10	1,0	0,673	44:10	1,0	0,520
04:20	1,0	0,753	24:20	1,0	0,753	44:20	1,0	0,379
04:30	1,0	0,753	24:30	1,0	0,713	44:30	1,0	0,448
04:40	1,0	0,753	24:40	1,0	0,753	44:40	1,0	0,379
04:50	1,0	0,557	24:50	1,0	0,634	44:50	1,0	0,313
05:00	1,0	0,634	25:00	1,0	0,753	45:00	1,0	0,413
05:10	1,0	0,634	25:10	1,0	0,753	45:10	1,0	0,379
05:20	1,0	0,673	25:20	1,0	0,634	45:20	1,0	0,448
05:30	1,0	0,673	25:30	1,0	0,753	45:30	1,0	0,313
05:40	1,0	0,713	25:41	1,0	0,794	45:40	1,0	0,313

05:50	1,0	0,713	25:50	1,0	0,753	45:50	1,0	0,251
06:00	1,0	0,673	26:00	1,0	0,713	46:00	1,0	0,345
06:11	1,0	0,836	26:10	1,0	0,673	46:10	1,0	0,379
06:20	1,0	0,836	26:20	1,0	0,713	46:20	1,0	0,379
06:30	1,0	0,753	26:30	1,0	0,836	46:30	1,0	0,251
06:40	1,0	0,794	26:40	1,0	0,753	46:40	1,0	0,484
06:50	1,0	0,794	26:50	1,0	0,634	46:50	1,0	0,251
07:00	1,0	0,794	27:00	1,0	0,753	47:00	1,0	0,313
07:10	1,0	0,634	27:10	1,0	0,673	47:10	1,0	0,345
07:20	1,0	0,753	27:20	1,0	0,673	47:20	1,0	0,313
07:30	1,0	0,673	27:30	1,0	0,753	47:30	1,0	0,281
07:40	1,0	0,753	27:40	1,0	0,753	47:40	1,0	0,379
07:50	1,0	0,753	27:50	1,0	0,673	47:50	1,0	0,448
08:00	1,0	0,878	28:00	1,0	0,794	48:00	1,0	0,313
08:10	1,0	0,753	28:10	1,0	0,753	48:10	1,0	0,313
08:20	1,0	0,673	28:20	1,0	0,713	48:20	1,0	0,313
08:30	1,0	0,595	28:30	1,0	0,713	48:30	1,0	0,313
08:40	1,0	0,557	28:40	1,0	0,595	48:40	1,0	0,345
08:50	1,0	0,673	28:50	1,0	0,836	48:50	1,0	0,345
09:00	1,0	0,713	29:00	1,0	0,673	49:00	1,0	0,345
09:10	1,0	0,753	29:10	1,0	0,634	49:10	1,0	0,313
09:20	1,0	0,753	29:20	1,0	0,753	49:20	1,0	0,413
09:30	1,0	0,753	29:30	1,0	0,673	49:30	1,0	0,281
09:40	1,0	0,753	29:40	1,0	0,836	49:40	1,0	0,379
09:50	1,0	0,753	29:50	1,0	0,836	49:50	1,0	0,251
10:00	1,0	0,713	30:00	1,0	0,794	50:00	1,0	0,281
10:10	1,0	0,673	30:10	1,0	0,753	50:10	1,0	0,379
10:20	1,0	0,753	30:20	1,0	0,557	50:20	1,0	0,313
10:30	1,0	0,713	30:30	1,0	0,673	50:30	1,0	0,379
10:40	1,0	0,753	30:40	1,0	0,753	50:40	1,0	0,413
10:50	1,0	0,713	30:50	1,0	0,673	50:50	1,0	0,251
11:00	1,0	0,673	31:00	1,0	0,753	51:00	1,0	0,313
11:10	1,0	0,753	31:10	1,0	0,836	51:10	1,0	0,251
11:20	1,0	0,673	31:20	1,0	0,753	51:20	1,0	0,251
11:31	1,0	0,753	31:30	1,0	0,753	51:30	1,0	0,251
11:40	1,0	0,673	31:40	1,0	0,753	51:40	1,0	0,193
11:50	1,0	0,753	31:50	1,0	0,595	51:50	1,0	0,139
12:00	1,0	0,673	32:00	1,0	0,836	52:00	1,0	0,165
12:10	1,0	0,673	32:10	1,0	0,753	52:10	1,0	0,165
12:20	1,0	0,753	32:20	1,0	0,753	52:20	1,0	0,139
12:30	1,0	0,673	32:30	1,0	0,713	52:30	1,0	0,091
12:40	1,0	0,836	32:40	1,0	0,713	52:40	1,0	0,091
12:50	1,0	0,673	32:50	1,0	0,713	52:50	1,0	0,091
13:00	1,0	0,794	33:00	1,0	0,794	53:00	1,0	0,091
13:10	1,0	0,836	33:10	1,0	0,713	53:10	1,0	0,069

13:20	1,0	0,713	33:20	1,0	0,673	53:20	1,0	0,139
13:30	1,0	0,794	33:30	1,0	0,836	53:30	1,0	0,091
13:40	1,0	0,634	33:40	1,0	0,595	53:40	1,0	0,091
13:50	1,0	0,713	33:50	1,0	0,713	53:50	1,0	0,049
14:01	1,0	0,753	34:00	1,0	0,753	54:00	1,0	0,069
14:10	1,0	0,713	34:10	1,0	0,794	54:10	1,0	0,091
14:20	1,0	0,753	34:20	1,0	0,753	54:20	1,0	0,0
14:30	1,0	0,753	34:30	1,0	0,836	54:30	1,0	0,1
14:40	1,0	0,713	34:40	1,0	0,753	54:40	1,0	0,1
14:50	1,0	0,713	34:50	1,0	0,713	54:50	1,0	0,1
15:00	1,0	0,634	35:00	1,0	0,713	55:00	1,0	0,0
15:10	1,0	0,836	35:10	1,0	0,753	55:10	1,0	0,1
15:20	1,0	0,753	35:20	1,0	0,753	55:20	1,0	0,0
15:30	1,0	0,753	35:30	1,0	0,753	55:30	1,0	0,1
15:40	1,0	0,673	35:40	1,0	0,753	55:40	1,0	0,0
15:50	1,0	0,753	35:50	1,0	0,753	55:50	1,0	0,1
16:00	1,0	0,836	36:00	1,0	0,753	56:00	1,0	0,0
16:11	1,0	0,595	36:10	1,0	0,836	56:10	1,0	0,0
16:20	1,0	0,753	36:20	1,0	0,753	56:20	1,0	0,0
16:30	1,0	0,634	36:30	1,0	0,673	56:30	1,0	0,0
16:40	1,0	0,713	36:40	1,0	0,753	56:40	1,0	0,0
16:50	1,0	0,673	36:50	1,0	0,753	56:50	1,0	0,0
17:00	1,0	0,753	37:00	1,0	0,713	57:00	1,0	0,0
17:10	1,0	0,794	37:10	1,0	0,836	57:10	1,0	0,0
17:20	1,0	0,673	37:20	1,0	0,753	57:20	1,0	0,0
17:30	1,0	0,673	37:30	1,0	0,713	57:30	1,0	0,0
17:40	1,0	0,794	37:40	1,0	0,836	57:40	1,0	0,0
17:50	1,0	0,753	37:50	1,0	0,753	57:50	1,0	0,1
18:00	1,0	0,836	38:00	1,0	0,753	58:00	1,0	0,0
18:10	1,0	0,673	38:10	1,0	0,753	58:10	1,0	0,1
18:20	1,0	0,713	38:20	1,0	0,753	58:20	1,0	0,1
18:30	1,0	0,753	38:30	1,0	0,753	58:30	1,0	0,0
18:40	1,0	0,595	38:40	1,0	0,673	58:40	1,0	0,0
18:50	1,0	0,794	38:50	1,0	0,673	58:50	1,0	0,0
19:00	1,0	0,794	39:00	1,0	0,713	59:00	1,0	0,0
19:10	1,0	0,673	39:10	1,0	0,836	59:10	1,0	0,0
19:20	1,0	0,673	39:20	1,0	0,753	59:20	1,0	0,0
19:30	1,0	0,673	39:30	1,0	0,673	59:30	1,0	0,0
19:40	1,0	0,753	39:40	1,0	0,753	59:40	1,0	0,0
19:50	1,0	0,713	39:50	1,0	0,595	59:50	1,0	0,0
						00:00	1,0	0,0

Waktu Tc didapat dengan menentukan Modus setiap 20 data pengamatan, dan hasilnya adalah sebagai berikut:

Data 20 ke	Modus
1	0,673
2	0,75333
3	0,75333
4	0,672934
5	0,75333
6	0,672934
7	0,672934
8	0,75333
9	0,75333
10	0,75333
11	0,75333
12	0,75333
13	0,75333
14	0,37873
15	0,312965
16	0,250834
17	0,090755
18	0



Gambar 13 Pengolahan data penentuan Tc Hasil Pengamatan di Labolatorium

Berdasarkan dari hasil penentuan jumlah limpasan dengan Modus Statistik, maka waktu konsentrasi terjadi pada jumlah limpasan 0,753 liter/menit untuk percobaan 1 liter 1%. Dan dari hasil differensial persamaan polynomial dengan pengamatan terlihat bahwa jumlah limpasan konstan dengan nilai 0,753 liter/menit berada pada waktu data pangamatan di no urut 185, yaitu pada waktu ke **30 menit 40 detik**.

Selanjutnya untuk 1 liter 2% mempunyai jumlah limpasan 0,7318 liter/menit. Hasil perhitungan modus setiap 20 data pengamatan terletak pada data ke 108 untuk puncaknya, yaitu pada waktu **23 menit 40 detik untuk waktu puncak banjir dan Tc**.

Dan untuk 1 liter 3% mempunyai jumlah limpasan 0,447 liter/menit. Hasil perhitungan modus setiap 20 data pengamatan berada pada waktu data pengamatan 20 ke 3, yaitu mulai data ke 40 sd 60, yaitu pada waktu **24 menit 50 detik untuk waktu puncak banjir dan Tc**

Berikut adalah hasil pengolahan data untuk luasan A1

Tabel Hasil Pengolahan Data luasan A1

Hujan	Kemiringan	Limpasan (hasil modus multi) Liter/min	No urut	R ²	Waktu banjir (Tc)
1 liter	1%	0,753	185	0,824	30 menit 40 detik
	2%	0,732	108	0,0686	23 menit 40 detik
	3%	0,395	150	0,569	24 menit 50 detik
2 liter	1%	1,65	147	0,887	23 menit 30 detik
	2%	1,146	58	0,808	11 menit 40 detik
	3%	1,211	162	0,87	26 menit 30 detik
3 liter	1%	2,152	115	0,527	17 menit 30 detik
	2%	1,701	97	0,8952	19 menit 20 detik
	3%	1,55	100	0,508	16 menit 30 detik

Penentuan Tc pada Luasan A2

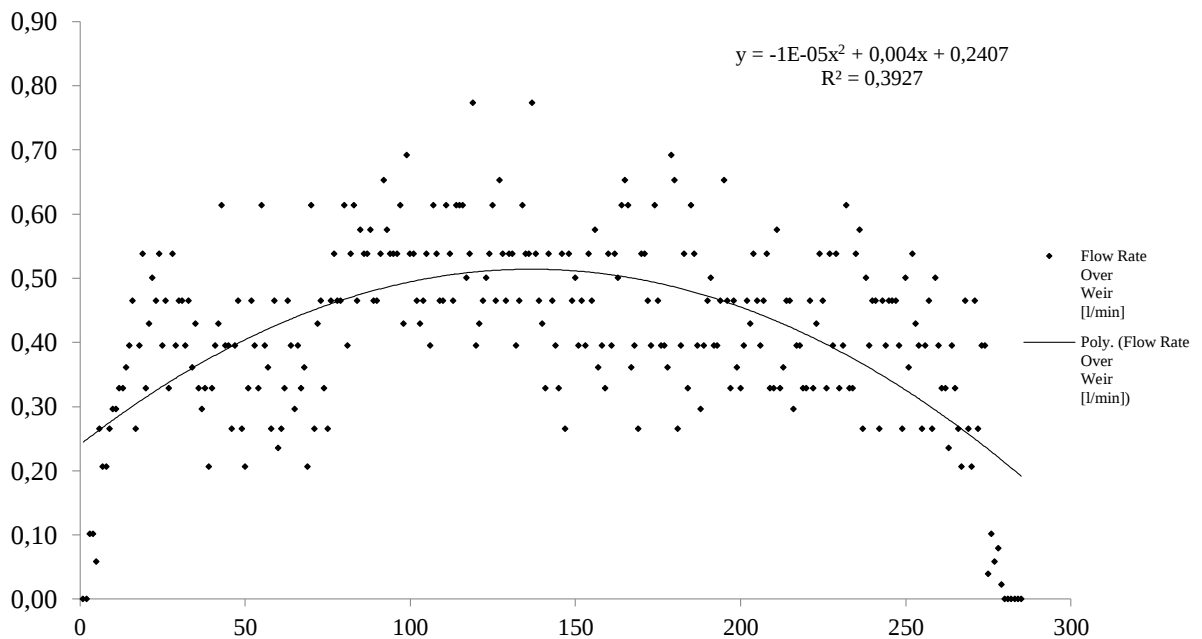
Penentuan waktu konsentrasi pada data hasil pengamatan adalah sangat sulit. Sebagai langkah awal dalam penentuan ini adalah waktu mulai konstan, maka penentuan waktu konsentrasi ditetapkan dengan cara sebagai berikut:

1. Hitung nilai Modus Statistik
2. Jumlah limpasan ditentukan dengan mendapatkan nilai hasil modus dengan frekwensi yang paling banyak dari setiap 20 data pengamatan
3. Bila didapatkan nilai frekwensi yang lebih sedikit dari awal waktu yang lain yaitu masih 3 nilai yang muncul maka masih belum dianggap waktu Tc, namun bila telah ditemukan 2 nilai dan 1 nilai terlewati selanjutnya adalah nilai modus dan seterusnya maka nilai awal dari waktu mulai konstan tersebut adalah Tc
4. Waktu konsentrasi ditentukan dengan nilai maksimum dari diferensial persamaan polynomial yang dapat dibentuk, gambar 15 A. Persamaan untuk luasan A2, hujan 1 liter dan kemiringan 1 % adalah sebagai berikut: $Y = -1E - 05x^2 + 0,004x + 0,2407$

$$\text{Diferensialnya menjadi : } Y = \frac{dy}{dx} = \frac{d(-1E-05x^2+0,004x+0,2407)}{dx} = -2E-05x+0,004$$

Dengan $0 = \frac{dy}{dx}$, yaitu posisi maksimum nilai waktu (sumbu x) terhadap Y (limpasan), maka $0 = -2x0,00001 \times X + 0,004$,

= $0,00002 \times X = 0,004$, $X = 0,004/0,00002$ maka X (yang menunjukkan waktu $\rightarrow T_c$) maka waktu T_c ditunjukkan pada pengamatan urutan ke 200. Urutan ke 200 tersebut menunjukkan T_c pada limpaasn 0,464 liter/menit dan T_c waktu banjir 17 menit 40 detik



Gambar 15 A. Kurva Polinomial untuk menentukan waktu puncak = banjir = T_c

Berdasarkan dari hasil penentuan jumlah limpasan dengan Modus Statistik, maka waktu konsentrasi terjadi pada jumlah limpasan 0,464 liter/menit untuk percobaan 1 liter 1%. Dan dari hasil differensial persamaan polynomial dengan pengamatan terlihat bahwa jumlah limpasan konstan dengan nilai 0,464 liter/menit berada pada waktu data pangamatan di no urut 200, yaitu pada waktu ke **17 menit 40 detik**.

Berikut adalah perhitungan untuk menentukan waktu konsentrasi dengan Statistik Modus

Tabel 4 Data Hasil Pengamatan 1% kemiringan, dan 1 liter/menit hujan, A1

Elapsed Time [min]	Rainfall Flow Rate [l/min]	Flow Rate Over Weir [l/min]	Elapsed Time [min]	Rainfall Flow Rate [l/min]	Flow Rate Over Weir [l/min]	Elapsed Time [min]	Rainfall Flow Rate [l/min]	Flow Rate Over Weir [l/min]	Elapsed Time [min]	Rainfall Flow Rate [l/min]	Flow Rate Over Weir [l/min]
00:00	1,0	0,000	13:40	1,0	0,613	27:00	1,0	0,501	40:20	1,0	0,465
00:10	1,0	0,000	13:50	1,0	0,465	27:10	1,0	0,613	40:30	1,0	0,395
00:20	1,0	0,102	14:00	1,0	0,575	27:20	1,0	0,652	40:40	1,0	0,465

00:30	1,0	0,102	14:10	1,0	0,537	27:30	1,0	0,613	40:50	1,0	0,465
00:40	1,0	0,058	14:20	1,0	0,537	27:40	1,0	0,361	41:00	1,0	0,465
00:50	1,0	0,265	14:30	1,0	0,575	27:50	1,0	0,395	41:10	1,0	0,395
01:00	1,0	0,206	14:40	1,0	0,465	28:00	1,0	0,265	41:20	1,0	0,265
01:10	1,0	0,206	14:50	1,0	0,465	28:10	1,0	0,537	41:30	1,0	0,501
01:20	1,0	0,265	15:00	1,0	0,537	28:20	1,0	0,537	41:40	1,0	0,361
01:30	1,0	0,296	15:10	1,0	0,652	28:30	1,0	0,465	41:50	1,0	0,537
01:40	1,0	0,296	15:21	1,0	0,575	28:40	1,0	0,395	42:00	1,0	0,429
01:50	1,0	0,328	15:30	1,0	0,537	28:50	1,0	0,613	42:10	1,0	0,395
02:00	1,0	0,328	15:40	1,0	0,537	29:00	1,0	0,465	42:20	1,0	0,265
02:10	1,0	0,361	15:50	1,0	0,537	29:10	1,0	0,395	42:30	1,0	0,395
02:20	1,0	0,395	16:00	1,0	0,613	29:20	1,0	0,395	42:40	1,0	0,465
02:30	1,0	0,465	16:10	1,0	0,429	29:30	1,0	0,361	42:50	1,0	0,265
02:40	1,0	0,265	16:20	1,0	0,692	29:40	1,0	0,692	43:00	1,0	0,501
02:50	1,0	0,395	16:30	1,0	0,537	29:51	1,0	0,652	43:10	1,0	0,395
03:00	1,0	0,537	16:40	1,0	0,537	30:00	1,0	0,265	43:20	1,0	0,328
03:10	1,0	0,328	16:50	1,0	0,465	30:10	1,0	0,395	43:30	1,0	0,328
03:20	1,0	0,429	17:00	1,0	0,429	30:20	1,0	0,537	43:40	1,0	0,235
03:30	1,0	0,501	17:10	1,0	0,465	30:30	1,0	0,328	43:50	1,0	0,395
03:40	1,0	0,465	17:20	1,0	0,537	30:40	1,0	0,613	44:00	1,0	0,328
03:50	1,0	0,537	17:30	1,0	0,395	30:50	1,0	0,537	44:10	1,0	0,265
04:00	1,0	0,395	17:40	1,0	0,613	31:00	1,0	0,395	44:20	1,0	0,206
04:10	1,0	0,465	17:50	1,0	0,537	31:10	1,0	0,296	44:30	1,0	0,465
04:20	1,0	0,328	18:00	1,0	0,465	31:20	1,0	0,395	44:40	1,0	0,265
04:30	1,0	0,537	18:10	1,0	0,465	31:30	1,0	0,465	44:50	1,0	0,206
04:40	1,0	0,395	18:20	1,0	0,613	31:40	1,0	0,501	45:00	1,0	0,465
04:50	1,0	0,465	18:30	1,0	0,537	31:50	1,0	0,395	45:10	1,0	0,265
05:00	1,0	0,465	18:40	1,0	0,465	32:00	1,0	0,395	45:20	1,0	0,395
05:10	1,0	0,395	18:50	1,0	0,613	32:10	1,0	0,465	45:30	1,0	0,395
05:20	1,0	0,465	19:00	1,0	0,613	32:20	1,0	0,652	45:40	1,0	0,039
05:30	1,0	0,361	19:10	1,0	0,613	32:30	1,0	0,465	45:50	1,0	0,102
05:40	1,0	0,429	19:20	1,0	0,501	32:40	1,0	0,328	46:00	1,0	0,058
05:50	1,0	0,328	19:30	1,0	0,537	32:50	1,0	0,465	46:10	1,0	0,079
06:00	1,0	0,296	19:40	1,0	0,773	33:00	1,0	0,361	46:20	1,0	0,022
06:10	1,0	0,328	19:50	1,0	0,395	33:10	1,0	0,328	46:30	1,0	0,000
06:20	1,0	0,206	20:00	1,0	0,429	33:20	1,0	0,395	46:40	1,0	0,000
06:30	1,0	0,328	20:10	1,0	0,465	33:31	1,0	0,465	46:50	1,0	0,000
06:40	1,0	0,395	20:20	1,0	0,501	33:40	1,0	0,429	47:00	1,0	0,000
06:50	1,0	0,429	20:30	1,0	0,537	33:50	1,0	0,537	47:10	1,0	0,000
07:00	1,0	0,613	20:40	1,0	0,613	34:00	1,0	0,465	47:20	1,0	0,000
07:10	1,0	0,395	20:50	1,0	0,465	34:10	1,0	0,395	47:30	1,0	0,000
07:20	1,0	0,395	21:00	1,0	0,652	34:21	1,0	0,465	47:40	1,0	0,000
07:30	1,0	0,265	21:10	1,0	0,537	34:30	1,0	0,537	47:50	1,0	0,000
07:40	1,0	0,395	21:20	1,0	0,465	34:40	1,0	0,328	48:00	1,0	0,000
07:50	1,0	0,465	21:30	1,0	0,537	34:50	1,0	0,328	48:10	1,0	0,000

08:00	1,0	0,265	21:40	1,0	0,537	35:00	1,0	0,575	48:21	1,0	0,000
08:10	1,0	0,206	21:50	1,0	0,395	35:10	1,0	0,328	48:30	1,0	0,000
08:20	1,0	0,328	22:00	1,0	0,465	35:20	1,0	0,361	48:40	1,0	0,000
08:30	1,0	0,465	22:10	1,0	0,613	35:30	1,0	0,465	48:50	1,0	0,000
08:40	1,0	0,395	22:20	1,0	0,537	35:40	1,0	0,465	49:00	1,0	0,000
08:50	1,0	0,328	22:30	1,0	0,537	35:50	1,0	0,296	49:10	1,0	0,000
09:00	1,0	0,613	22:40	1,0	0,773	36:00	1,0	0,395	49:20	1,0	0,000
09:10	1,0	0,395	22:50	1,0	0,537	36:10	1,0	0,395	49:30	1,0	0,000
09:20	1,0	0,361	23:00	1,0	0,465	36:20	1,0	0,328	49:40	1,0	0,000
09:30	1,0	0,265	23:10	1,0	0,429	36:30	1,0	0,328	49:50	1,0	0,000
09:40	1,0	0,465	23:20	1,0	0,328	36:40	1,0	0,465	50:00	1,0	0,000
09:50	1,0	0,235	23:30	1,0	0,537	36:50	1,0	0,328	50:10	1,0	0,000
10:00	1,0	0,265	23:40	1,0	0,465	37:00	1,0	0,429	50:20	1,0	0,000
10:10	1,0	0,328	23:50	1,0	0,395	37:10	1,0	0,537	50:30	1,0	0,000
10:20	1,0	0,465	24:01	1,0	0,328	37:20	1,0	0,465	50:40	1,0	0,000
10:30	1,0	0,395	24:10	1,0	0,537	37:30	1,0	0,328	50:50	1,0	0,000
10:40	1,0	0,296	24:20	1,0	0,265	37:40	1,0	0,537	51:00	1,0	0,000
10:50	1,0	0,395	24:30	1,0	0,537	37:50	1,0	0,395	51:10	1,0	0,000
11:00	1,0	0,328	24:40	1,0	0,465	38:00	1,0	0,537	51:20	1,0	0,000
11:10	1,0	0,361	24:50	1,0	0,501	38:10	1,0	0,328	51:30	1,0	0,000
11:20	1,0	0,206	25:00	1,0	0,395	38:20	1,0	0,395	51:40	1,0	0,000
11:30	1,0	0,613	25:11	1,0	0,465	38:30	1,0	0,613	51:50	1,0	0,000
11:40	1,0	0,265	25:20	1,0	0,395	38:40	1,0	0,328	52:00	1,0	0,022
11:50	1,0	0,429	25:30	1,0	0,537	38:50	1,0	0,328	52:10	1,0	0,000
12:00	1,0	0,465	25:40	1,0	0,465	39:00	1,0	0,537	52:20	1,0	0,000
12:10	1,0	0,328	25:50	1,0	0,575	39:10	1,0	0,575	52:30	1,0	0,000
12:20	1,0	0,265	26:00	1,0	0,361	39:20	1,0	0,265	52:40	1,0	0,000
12:30	1,0	0,465	26:10	1,0	0,395	39:30	1,0	0,501	52:50	1,0	0,000
12:40	1,0	0,537	26:20	1,0	0,328	39:40	1,0	0,395	53:00	1,0	0,000
12:50	1,0	0,465	26:30	1,0	0,537	39:50	1,0	0,465	53:10	1,0	0,000
13:00	1,0	0,465	26:40	1,0	0,395	40:00	1,0	0,465	53:20	1,0	0,000
13:10	1,0	0,613	26:50	1,0	0,537	40:10	1,0	0,265	53:30	1,0	0,000
13:20	1,0	0,395							53:40	1,0	0,000
13:30	1,0	0,537							53:50	1,0	0,000

Berikut adalah hasil pengolahan data untuk luasan A2

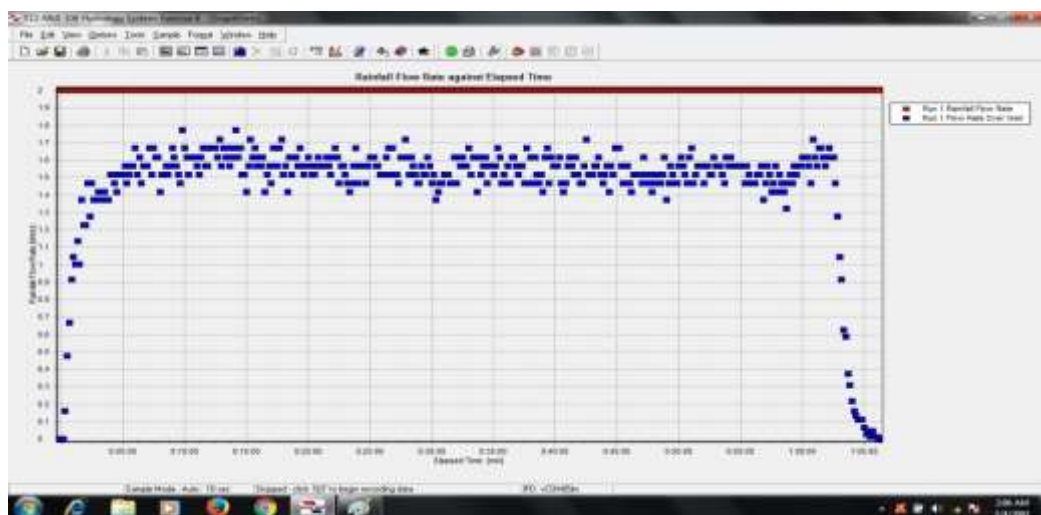
Hujan	Kemiringan	Limpasan (hasil modus multi) Liter/min	No urut	R^2	Waktu banjir (T_c)
1 liter	1%	0,464	200	0,3927	17 menit 10 detik
	2%	0,3318	150	0,4253	31 menit 50 detik
	3%	0,732	270	0,6771	44 menit 50 detik
2 liter	1%	1,57	143	0,3511	23 menit 40 detik
	2%	1,075	195	0,7011	32 menit 20 detik
	3%	1,45	205	0,4769	34 menit 20 detik
3 liter	1%	0,692	115	0,6501	11menit 10 detik
	2%	1,451	94	0,6043	15 menit 10 detik
	3%	1,212	118	0,508	20 menit 10 detik

5.4 Hasil Pengaruh antar Variabel

Hasil penelitian ini sementara masih dalam proses pengambilan data di labolatorium. Sebagai hipotesis, dari hasil pelaksanaan eksperimen, untuk kemiringan dan hujan yang sama, awal kejenuhan air yang berbeda akan menghasilkan jumlah limpasan yang sama. Waktu konsentrasi dari hasil pengujian sementara pada perlakuan ini adalah bergeser karena waktu mulai melimpas berbeda dan semakin cepat untuk kejenuhan air yang lebih besar.

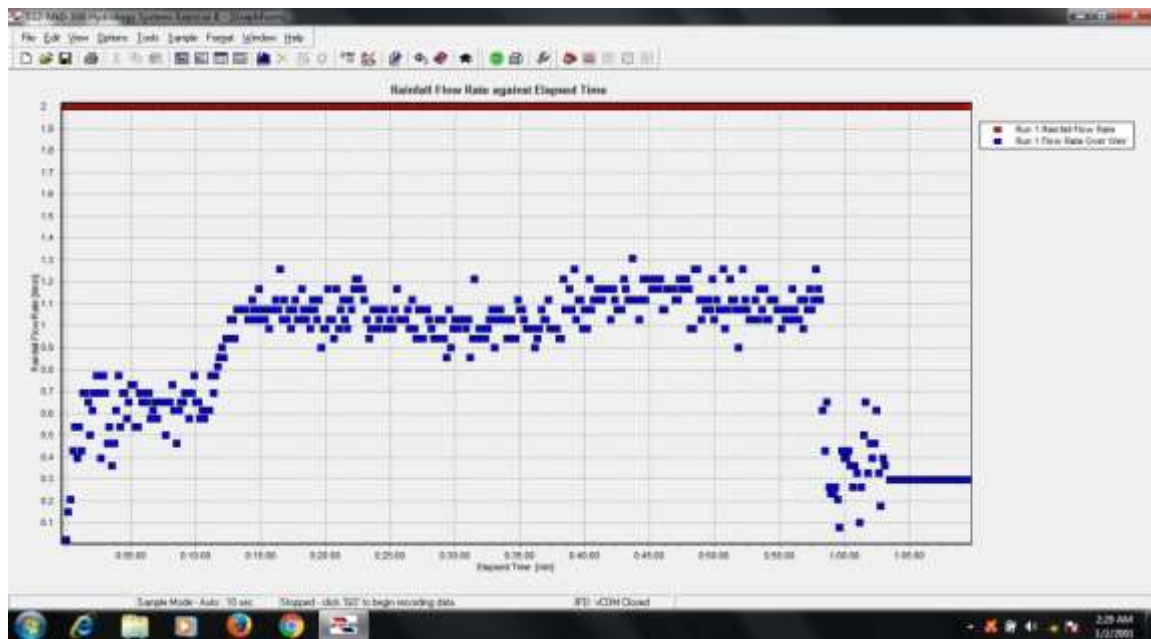
1. Pengaruh hujan yang sama, luasan sama, kemiringan yang berbeda

Jumlah debit limpasan yang keluar dari alat pengukur adalah 0,75 lter/menit. Ini terjadi pada kondisi perlakuan 18 jam didiamkan sekitar 60% kadar air awal. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai T_c yaitu saat konstan menggunakan metode statistic modus, yaitu nilai yang sering muncul atau frekwensi yang banyak.



Gambar T_c pada A2_2 liter_1%

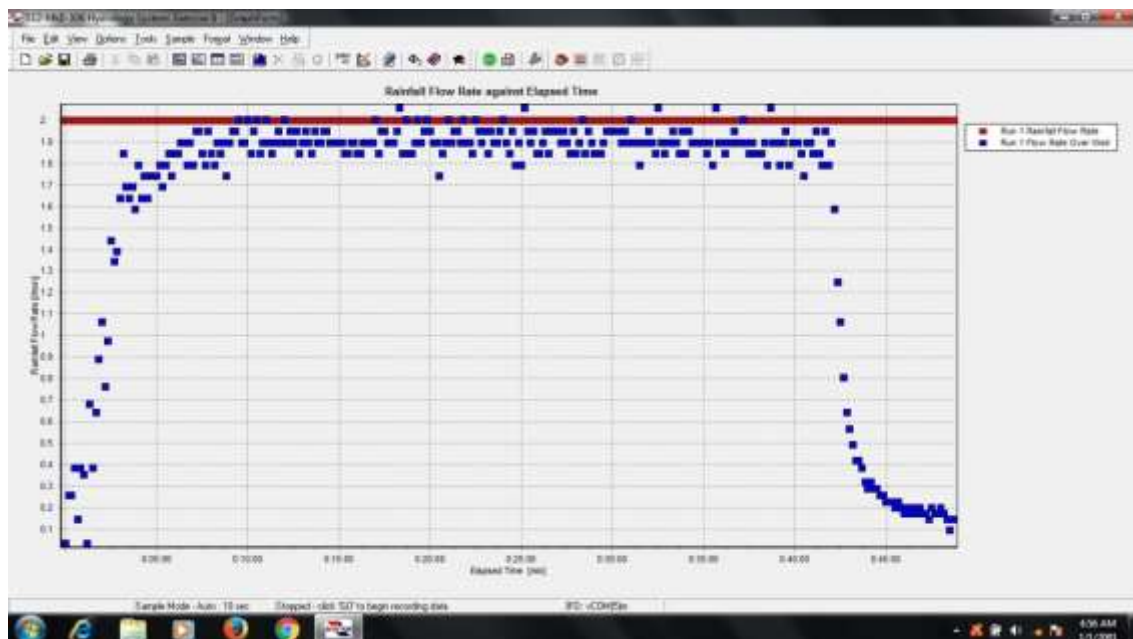
Waktu konsentrasi pada A2_2 liter_1% adalah **23 menit 40 detik**.



Gambar Tc pada A2_2 liter_2%

Waktu konsentrasi pada A2_2 liter_2 % adalah **32 menit 20 detik**

Dan untuk A2_2 liter_3% adalah **34 menit 20 detik** (2 jam)



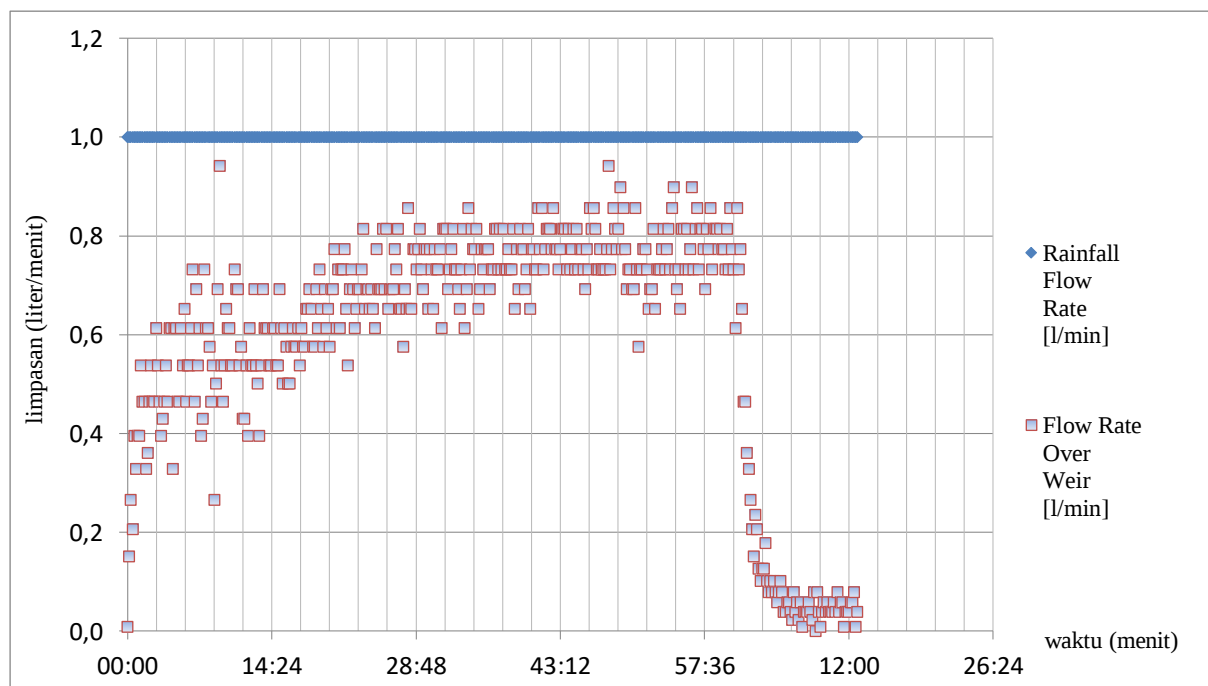
Gambar Tc pada A2_2 liter_3%

Waktu konsentrasi pada hujan yang sama dan luasan yang sama di beda kemiringan adalah semakin curam kemiringan lahan maka waktu konsentrasi akan semakin lama. Dapat ditunjukkan pada Gambar, Gambar, Gambar. Waktu konsentrasi pada kemiringan yang

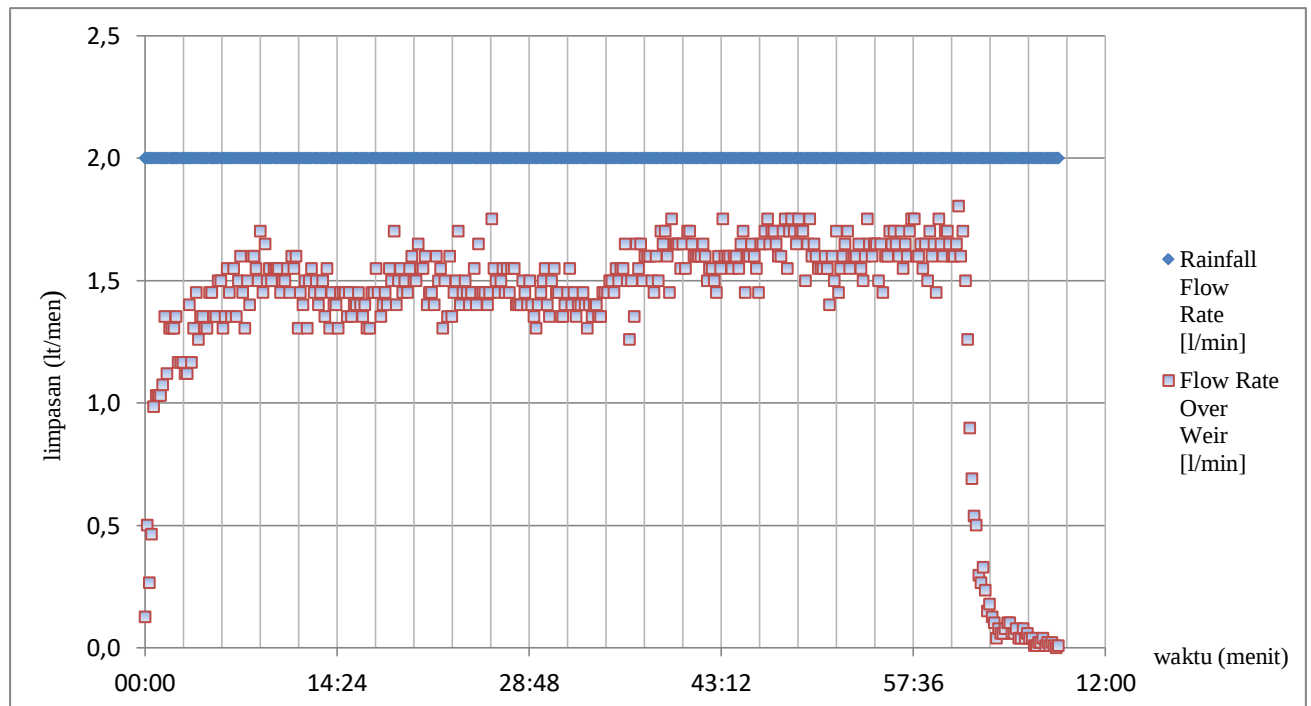
berbeda juga dipengaruhi oleh factor lain yang ternyata berpengaruh pada tercapainya waktu banjir puncak, yaitu kadar air awal. Dapat dilihat waktu konsentrasi pada kemiringan 3%, yang mempunyai kadar air awal hingga 75%. Waktu yang diperlukan untuk mencapai puncak banjir pada kondisi tersebut mempunyai waktu yang tidak berbeda jauh dengan yang 2%.

2. Pengaruh kemiringan yang sama, luasan yang sama, hujan yang berbeda

Waktu konsentrasi di lahan diperlukan hujan mencapai puncaknya pada kondisi tanah yang mulai jenuh hingga mengalir sebagai limpasan. Permukaan lahan yang miring akan mengalami kecepatan lebih cepat karena adanya gaya miring dari lahan. Hal ini menyebabkan infiltrasi atau kemampuan tanah untuk menyerap air semakin kecil. Dengan kemampuan penyerapan lahan semakin kecil menyebabkan tanah akan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencapai kejenuhan air. **Bahkan dengan keterbatasan kondisi lahan, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konstan (banjir) antara infiltrasi dan limpasan dapat menjadi tidak sama karena tanah tidak dapat seutuhnya menampung air dalam luasan tertentu namun dengan hujan yang menerus akan membawa material yang terkandung di atas permukaan lahan dan terjadi longsor bila tidak ada yang menahan gaya geser dari tanah.**

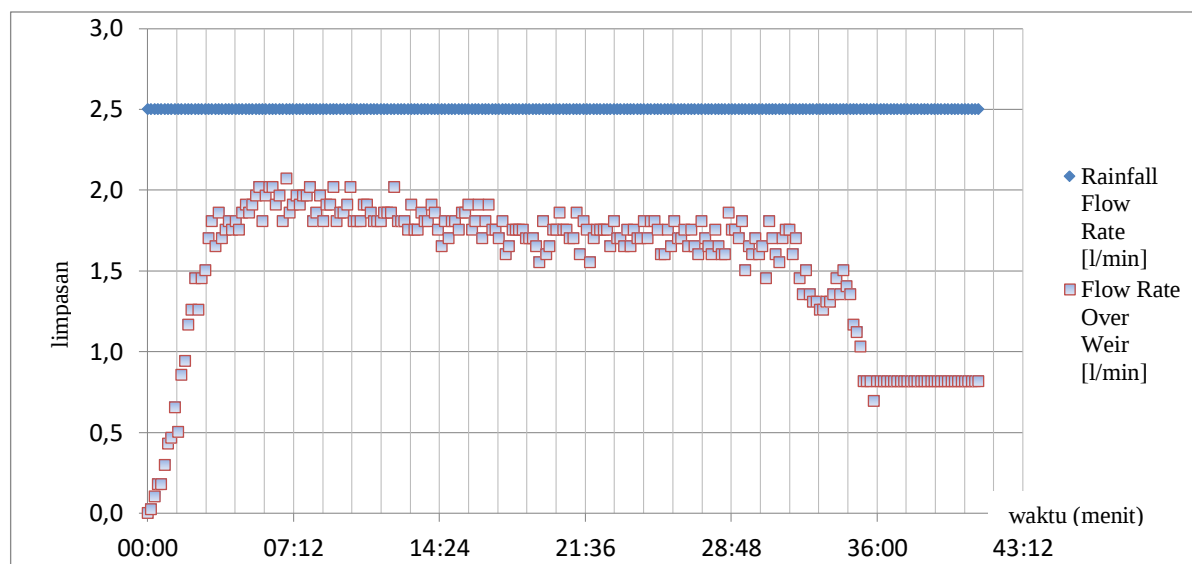


Gambar 14 Hasil Pengamatan A2, 3%, 1 Liter/menit hujan



Gambar 15 Hasil Pengamatan A2, 3%, 2 liter/menit hujan

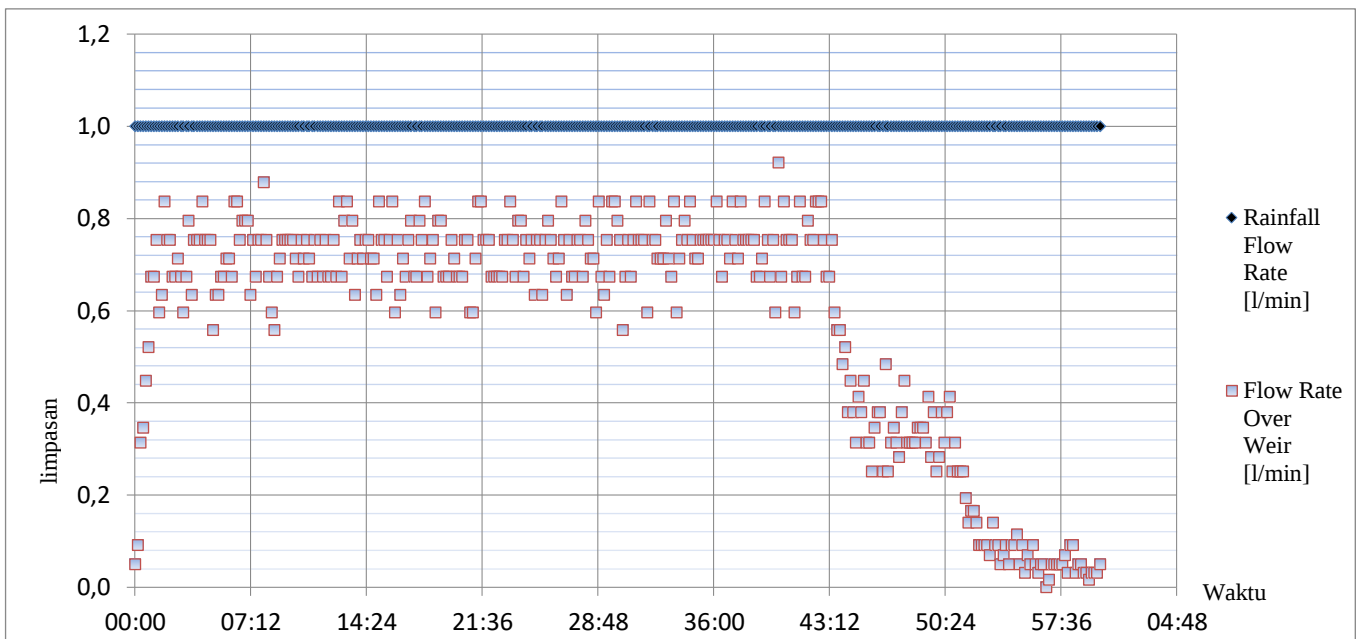
Selanjutnya untuk 2 liter 3% mempunyai jumlah limpasan 1,451 liter/menit. Hasil perhitungan modus setiap 20 data pengamatan berada pada waktu data pengamatan ke 205, yaitu pada waktu **34 menit 20 detik**



Gambar 16 Hasil Pengamatan A2, 3%, 3 - 2,5 liter/menit hujan

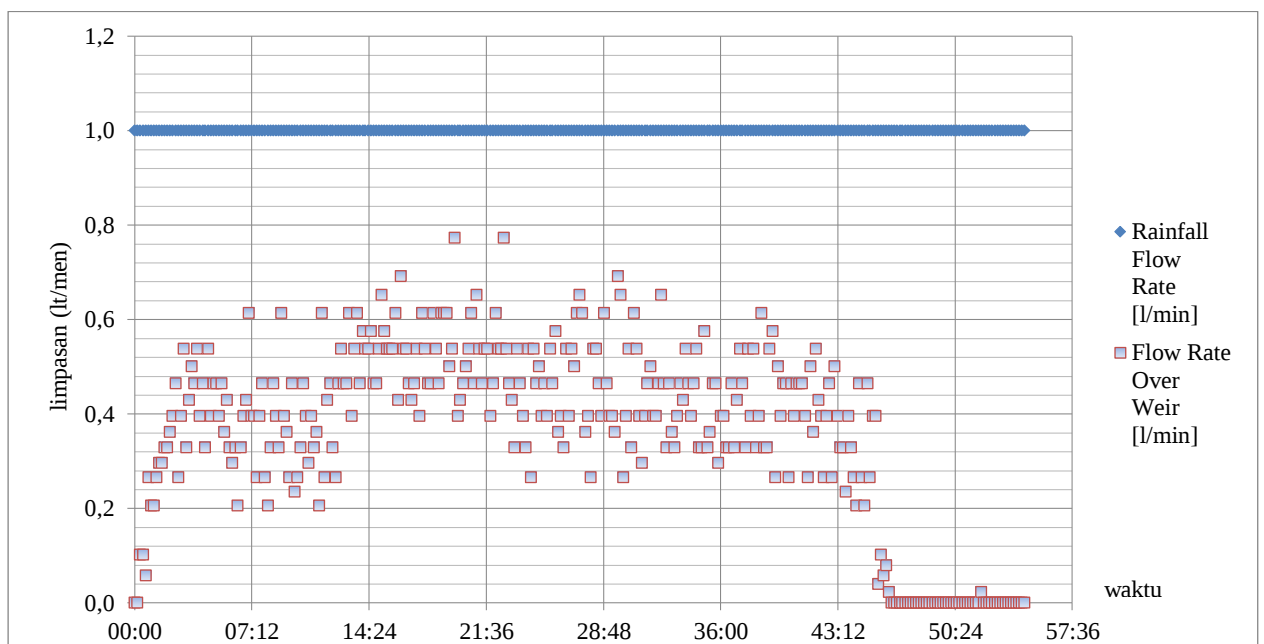
Dan untuk 2,5 liter/menit 3% mempunyai jumlah limpasan 1,212 liter/menit. Hasil perhitungan modus setiap 20 data pengamatan berada pada waktu data pengamatan 118, yaitu pada waktu **20 menit 10 detik**.

3. Pengaruh luasan yang berbeda, pada hujan yang sama, kemiringan yang sama



Gambar 17 A1, 1 liter/menit Hujan, 1% Kemiringan Lahan

Berdasarkan dari hasil penentuan jumlah limpasan dengan Modus Statistik, maka waktu konsentrasi terjadi pada jumlah limpasan 0,395 liter/menit untuk percobaan 1 liter 3%, dengan $T_c = 24$ menit 50 detik, sedangkan untuk luasan A2 dengan hujan dan kemiringan yang sama adalah pada jumlah limpasan konstan adalah 44 menit 50 detik. Hal ini menandakan bahwa semakin luas suatu daerah maka semakin lama waktu konsentrasi yang terjadi, artinya waktu konsentrasi dan luasan berbanding lurus.

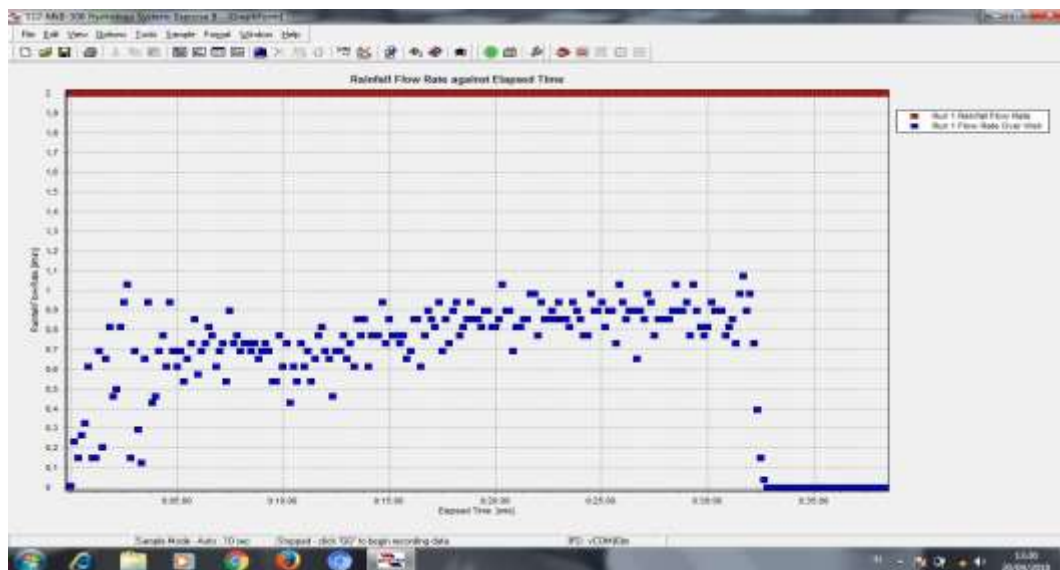


Gambar 18 Hasil Pengamatan A1, 1 liter/menit Hujan, 1% lahan

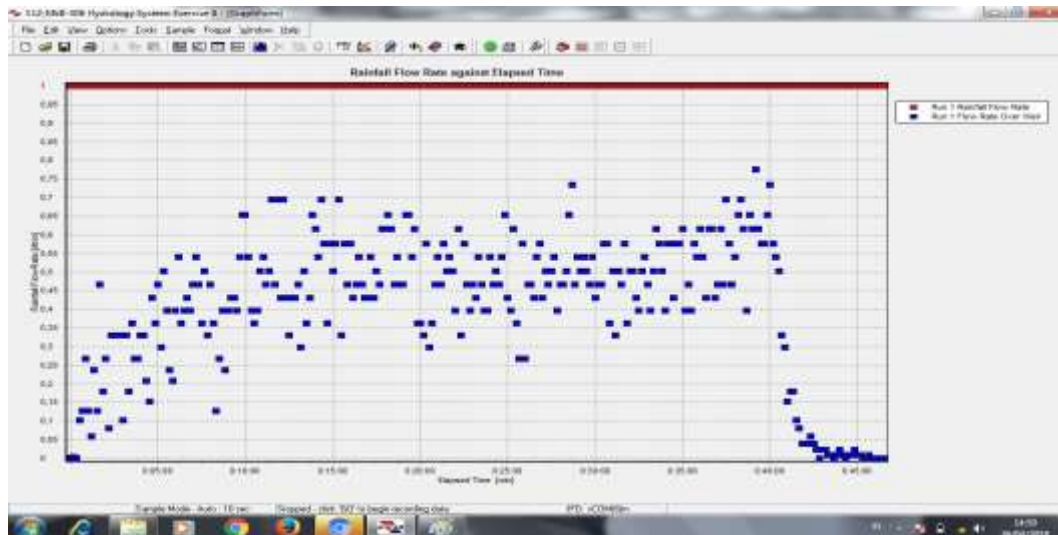
Berdasarkan dari hasil penentuan jumlah limpasan dengan Modus Statistik, maka waktu konsentrasi terjadi pada jumlah limpasan 0,465 liter/menit untuk percobaan 1 liter 1%. Dan dari hasil modus setiap 20 data pengamatan terlihat bahwa jumlah limpasan konstan dengan nilai 0,465 liter/menit berada pada waktu data pengamatan 20 ke 10, yaitu pada mulai data ke 160 sd 180 pada waktu ke **30 menit 40 detik**.

Berdasarkan rumus Wiliam (1922) dalam (Chibber & M-H-L, 2008), waktu konsentrasi dipengaruhi pula oleh luasan daerah. Semakin luas daerah maka waktu konsentrasi semakin lama, berbanding lurus. Namun dalam penelitian yang dilakukan, waktu konsentasi mempunyai keterbatasan pada luasan arealnya. Lahan mempunyai berbagai kondisi pada luasan tertentu. Hal ini yang membatasi waktu konsentrasi terhadap luasannya. Sehingga rumus T_c tidak dapat berdiri sendiri dengan parameter atau variabel yang 1, namun dipengaruhi secara bersama-sama oleh factor yang lain, diantaranya kemiringan dan kondisi fisik tanah, serta kondisi kadar air awal.

5.5 Hasil pembahasan setiap pengamatan

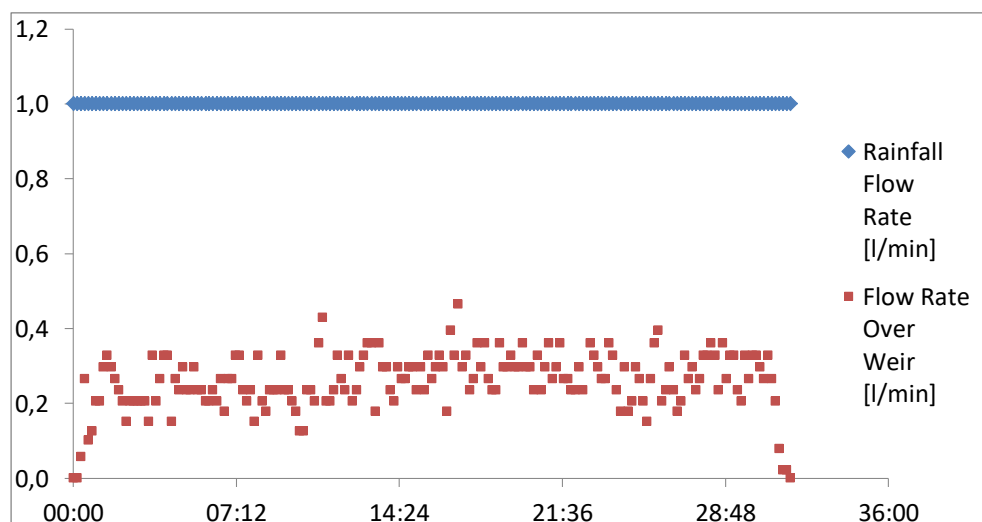


Gambar 19 Hasil running Hujan – Limpasan pada 1 liter, 3% kemiringan

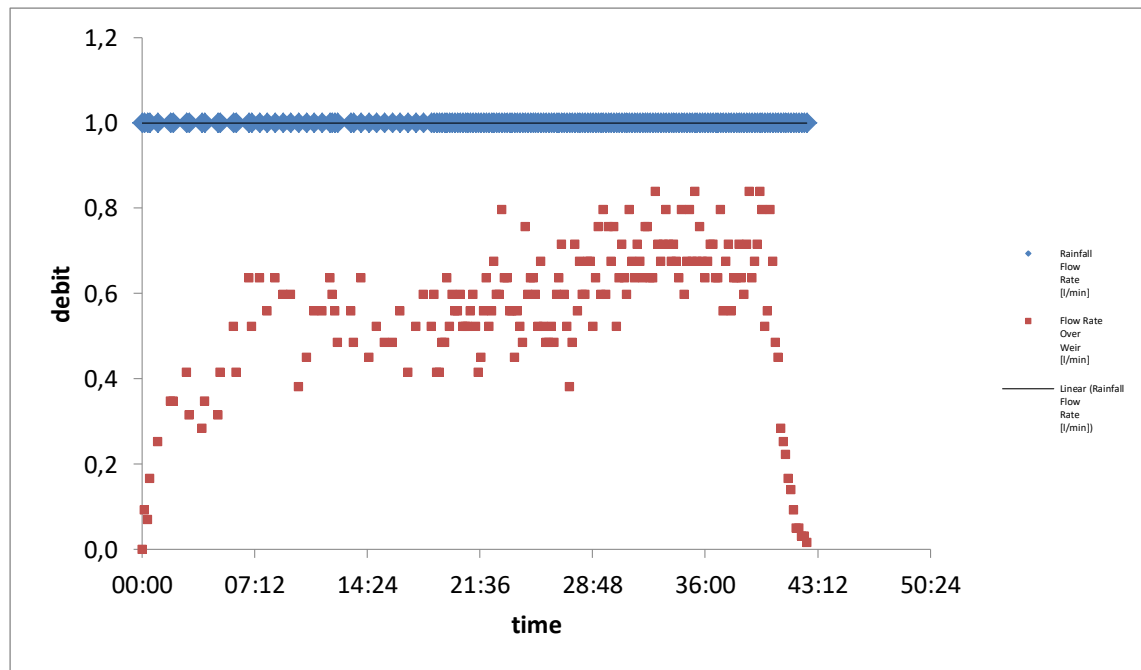


Gambar 20 Hasil running hujan dan Limpasan pada 1 liter, 2% kemiringan

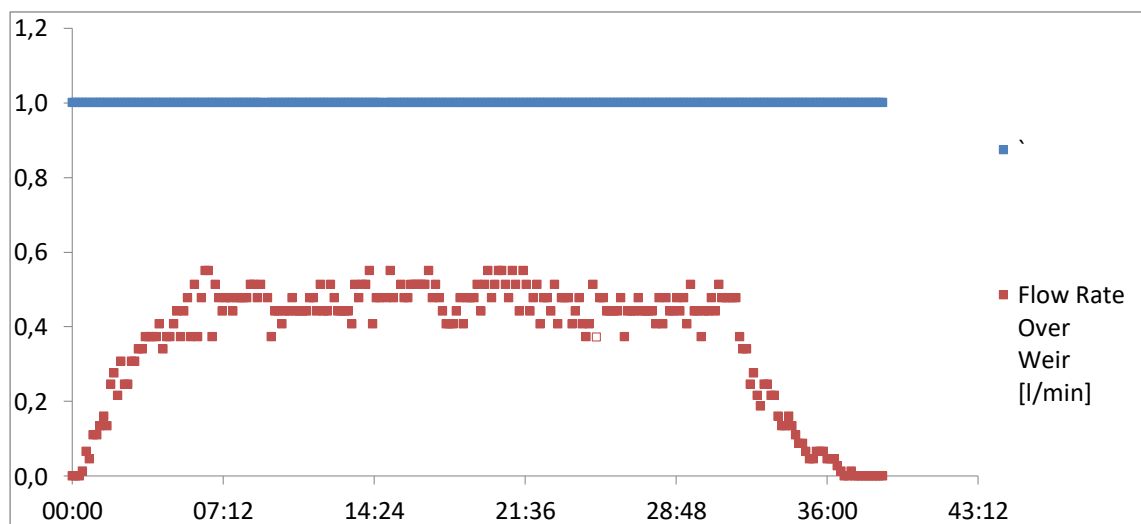
Pengolahan data hasil pengamatan divariasikan untuk mengetahui hubungan antara hujan dan limpasan, hujan limpasan dan infiltrasi, hujan limpasan dan waktu tunggu, hujan limpasan dan waktu konsentrasi, hujan limpasan infiltrasi dan waktu konsentrasi. Masing-masing pengamatanpun dapat diambil pembahasan dan analisis tentang hubungan antara waktu konsentrasi terhadap luasan yang berbeda, waktu konsentrasi terhadap hujan, dan luasan yang berbeda, waktu konsentrasi terhadap luasan yang berbeda, kemiringan yang berbeda, waktu konsentrasi terhadap luasan yang sama hujan berbeda kemiringan berbeda, dan lainnya. Penelitian ini dilakukan dengan perlakuan hujan 1 liter dan kemiringan 1%, 2%, 3% dengan luas tangki



Gambar 21 . Hujan 1liter, kemiringan 1%



Gambar 22 Hujan 1 liter, kemiringan 2%



Gambar 23 Hujan 1 liter, kemiringan 3%

Berdasarkan hasil pengamatan, gambar 1,2,3 menunjukkan jumlah limpasan pada hujan yang sama di kemiringan yang berbeda. Gambar 1 adalah hujan 1 liter, kemiringan 1% yang terjadi pada W1 (kadar air 10%). Kondisi ketiganya mempunyai kadar air awal yang sama yaitu 10%. Dapat terlihat bahwa semakin miring lahan maka jumlah limpasan semakin banyak dan pada suatu waktu tertentu akan menjumpai nilai jumlah limpasan yang sama pada hujan yang sama, kemiringan yang berbeda, dan kondisi tanah yang sama, serta kadar air awal yang sama. Waktu yang berbeda adalah waktu untuk mencapai waktu banjir yang berbeda. Jumlah limpasan akan mencapai jumlah yang sama pada kemiringan yang berbeda ditunjukkan pada kondisi yang konstant.

Hal ini berkaitan dengan pembahasan yang disampaikan oleh (Ni'matul, et al., 2004) bahwa kemiringan mempengaruhi aliran permukaan, walaupun sebenarnya tidak hanya kemiringan yang mempengaruhi, yaitu secara bersamaan kadar air tanah dan tingkat kejenuhan tanah mempengaruhi jumlah limpasan.

5.6 Luaran yang Dicapai

Berdasarkan hasil pengolahan data ditemukan beberapa hal:

1. Pengaruh setiap variable terhadap waktu konsentrasi pada lahan
2. Keterbatasan setiap variable untuk menentukan lamanya waktu konsentrasi
3. Metode penentuan waktu konsentrasi hasil pengamatan di laboratorium. Pengolahan data hasil pengamatan tersebut diambil untuk menghindari unsur subyektifitas dalam menentukan waktu konsentrasi pada jumlah limpasan yang konstan.
4. Mendapatkan manfaat pengetahuan bahwa waktu konsentrasi yang merupakan factor penting dalam mendesain drainase mempunyai rumus masing-masing, yaitu untuk mendesain drainase saluran, maka menggunakan rumus T_c saluran (dengan parameter yang berpengaruh), bila akan mendesain drainase di lahan (sumur resapan) maka menggunakan rumus T_c di lahan (overlandflow).

Berdasarkan temuan-temuan tersebut, maka dapat dihasilkan luaran dari penelitian ini:

1. Dari temuan yang pertama, didapatkan bahan untuk membuat Draft Sub Bab Buku Drainase Perkotaan, judul : Waktu Konsentrasi dalam Perencanaan Drainase (draft terlampir)
2. Dari temuan yang kedua, didapatkan bahan untuk membuat artikel ilmiah internasional (draft terlampir)
3. Dari temuan yang ke tiga, didapatkan bahan untuk membuat artikel Seminar Nasional HATHI (Himpunan Ahli Teknik Hidrolik Indonesia) di Medan, tanggal 7 sd 9 September 2018

Artikel yang telah dibuat untuk artikel prosiding Nasional adalah berjudul:

“Eksperimen Hujan - Limpasan Dengan Alat *Rainfall Simulator* Untuk Menentukan Waktu Konsentrasi Drainase Perkotaan”

Penulis:

D Noorvy Khaerudin¹, Donny Harisuseno², dan Riyanto Haribowo^{2*}

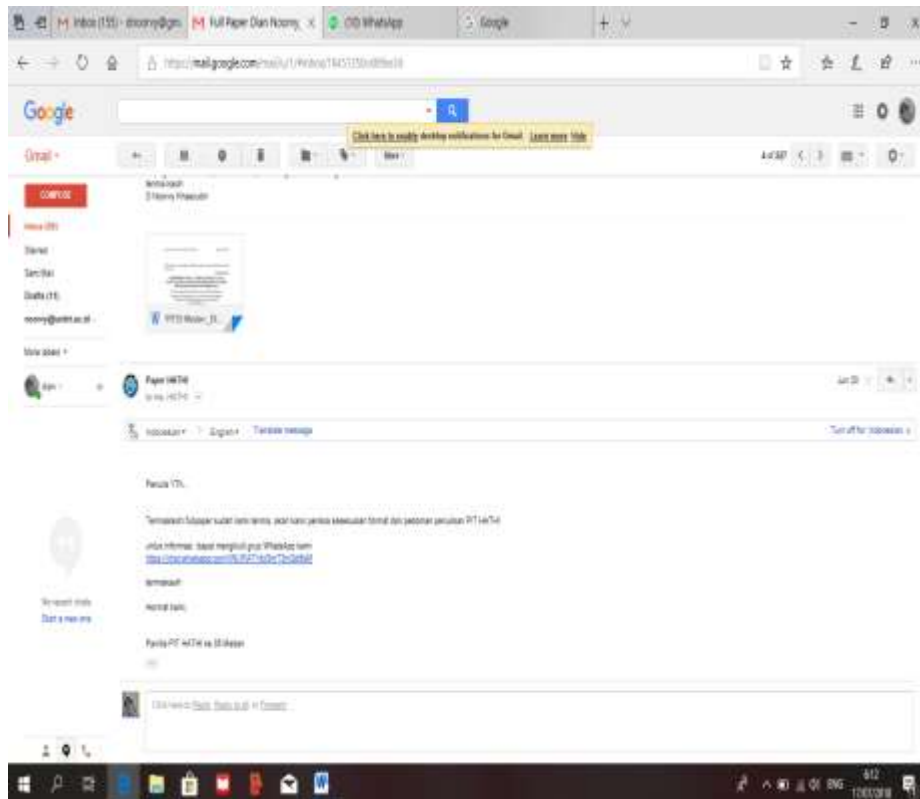
¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Tribhuwana Tungadewi

²Program Studi Teknik Pengairan Universitas Brawijaya

*noorvy@unitri.ac.id

Dengan demikian keluaran untuk penelitian ini 70% telah terselesaikan. Dua artikel tersebut telah diterima dan penulis menjadi pemak. Pelaksanaan kegiatan Seminar Internasional akan dilaksanakan tanggal 3-5 September 2018 di Yogyakarta pada acara *the 21st IAHR-APD Congress 2018*. Dan seminar nasional dilaksanakan tanggal 7-9 September 2018 di Medan pada acara Pertemuan Ilmiah Tahunan XXXV HATHI – Medan.

Berikut adalah bukti penerimaan artikel untuk Seminar Nasional HATHI



4. Dari temuan yang ke empat, sebagai bahan membuat artikel Seminar Internasional IAHR-APD Yogyakarta

Artikel yang telah dibuat adalah artikel prosiding internasional yang berjudul:

Time Of Concentration For Drainage Design Characteristics

PENULIS:

D NOORVY KHAERUDIN

Tribhuwana Tunggaladewi University, Malang, Indonesia, dianoorvykhaerudin@gmail.com

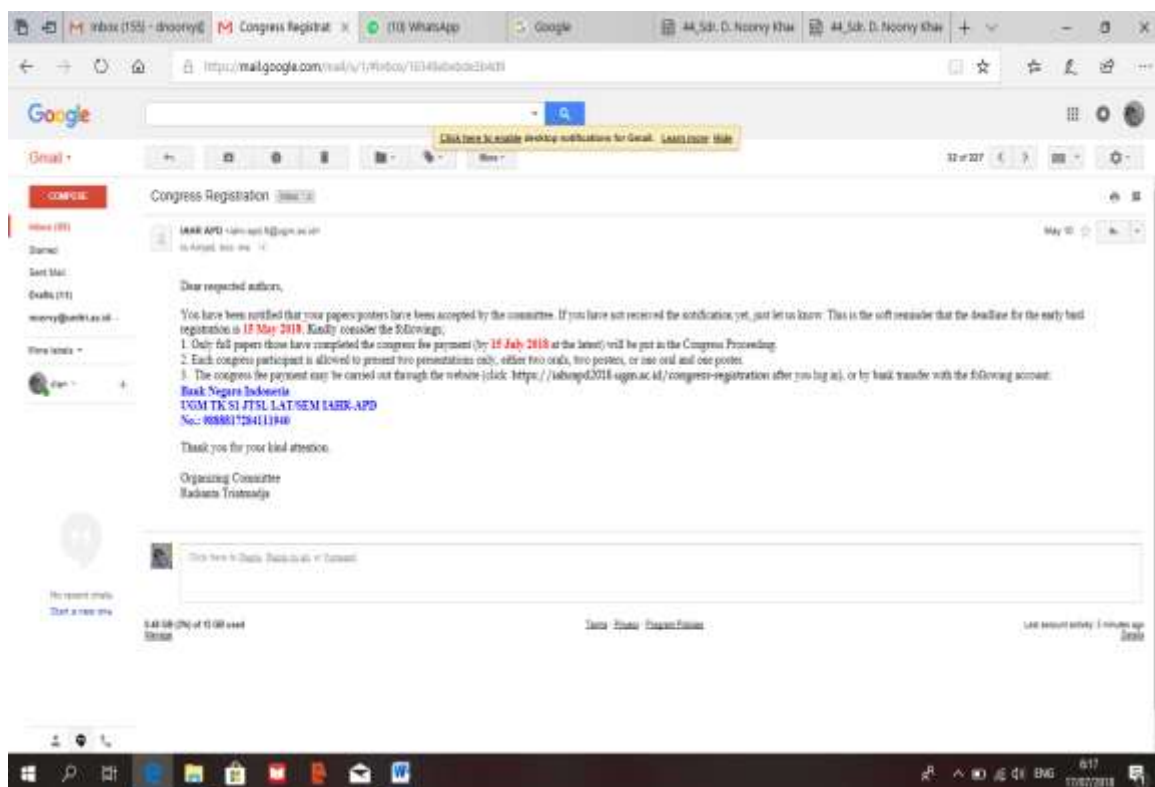
DONNY HARISUSENO, BRAWIJAYA UNIVERSITY, MALANG, INDONESIA,

DONNYHARI@UB.AC.ID

DENIK SRI KRISNAYANTI, Nusa Cendana University, Malang, Indonesia,

denik.krisnayanti@gmail.com

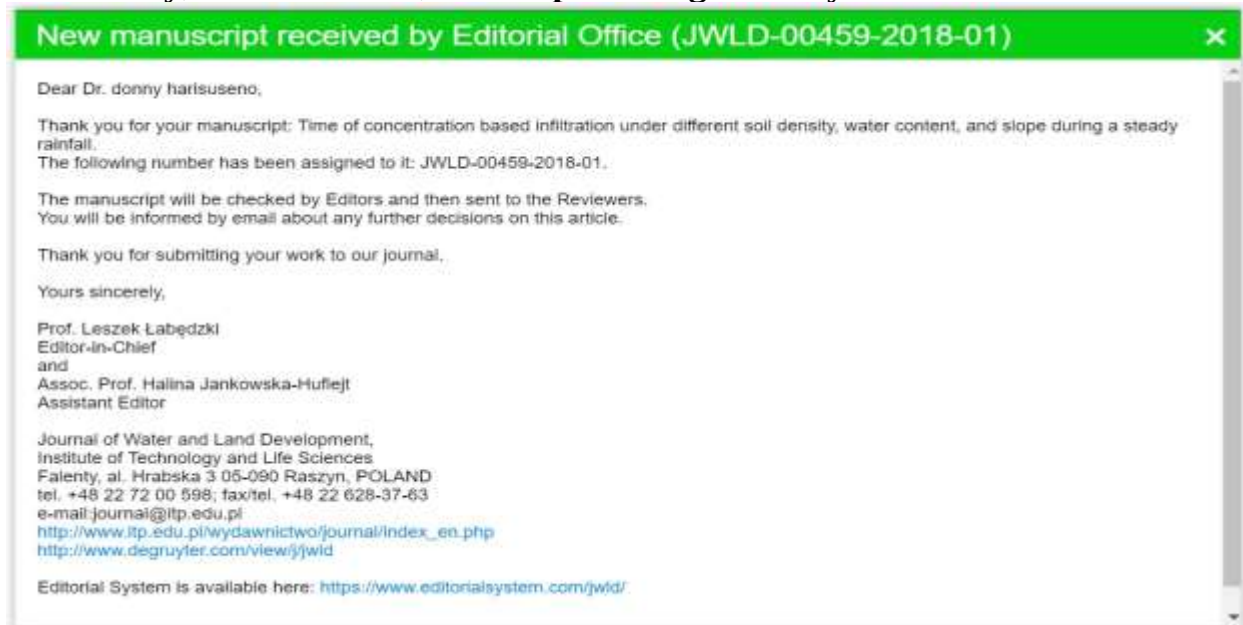
Berikut adalah bukti penerimaan artikel dan diterima sebagai Presenter di Seminar Internasional IAHR APD 2018 di Yogyakarta, 3-5 September 2018:



5. Artikel Ilmiah Internasional

Artikel ilmiah internasional pada laporan akhir ini dengan status submitted. Jurnal yang dituju adalah WATER LAND AND DEVELOPMENT JOURNAL.

Judul artikel ilmiah: Time of concentration based infiltration under different soil density, water content, and slope during a steady rainfall



Tabel 5 Rekapitulasi hasil Keluaran:

No	Kategori	Sub Kategori	Wajib	TS
1.	Artikel ilmiah dimuat di jurnal	Internasional bereputasi	WATER LAND AND DEVELOPMENT JOURNAL	<i>Submitted</i>
		Nasional Terakreditasi		-
2.	Artikel ilmiah dimuat di prosiding	Internasional terindeks		IAHR-APD Yogyakarta 3 sd 7 September 2018
		Nasional		HATHI, Medan 7 sd 9 September 2018
3.	Invited speaker dalam temu ilmiah	Internasional		IAHR-APD Yogyakarta 3 sd 7 September 2018
		Nasional		HATHI, Medan 7 sd 9 September 2018
4.	Visiting Lecturer	Internasional		-
5.	Hak Kekayaan Intelektual	Paten		-
		Paten Sederhana		-

(HKI)	Hak Cipta	Draft laporan rumus Tc
	Merek dagang	
	Rahasia dagang	
	Desain produk industry	
	Indikasi Geografis	
	Perlindungan Tanaman	
	Varietas	
	Perlindungan Sirkuit Terpadu	
	Topografi	
6.	Teknologi Tepat Guna	-
7.	Model/Purwarupa/Desain/Karya — Seni/Rekayasa Sosial	√ Produk persamaan
8.	Buku Ajar (ISBN)	√ Draft
9.	Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT)	1

BAB 6. RENCANA TAHAP SELANJUTNYA

Tujuan utama penelitian ini adalah mendapatkan Persamaan Tc di lahan drainase perkotaan, dalam hal ini untuk menunjang perencanaan Ekodrainase Perkotaan (drainase yang berwawasan lingkungan). Persamaan Tc di lahan dengan kondisi iklim, tanah dan pola tataguna atau penutup lahan di Indonesia masih belum banyak, sehingga penelitian ini mempunyai arahan untuk mendukung drainase perkotaan yang berwawasan lingkungan di Indonesia.

Kontribusi dari penelitian ini hingga direncanakan 3 tahap penelitian adalah:

1. Untuk pengembangan ilmu, adalah dapat memperkaya khasanah keilmuan yang berkaitan dengan pengembangan model waktu banjir di lahan drainase perkotaan yang dibangun dari persamaan limpasan dan infiltrasi, yaitu dengan beberapa kondisi lahan, kepadatan tanah karena adanya pengaruh tata guna lahan dimana waktu konsentrasi adalah untuk memprediksi debit rencana lahan drainase perkotaan.
2. Manfaat kontribusi bagi *stakeholder* adalah mendapatkan persamaan waktu banjir yang terevaluasi dan terkalibrasi dalam perencanaan saluran drainase dari saat mulai hujan turun di atas permukaan tanah hingga meresap, mulai mengalir dan mengalir dalam saluran. Sedangkan untuk pemerintah daerah sebagai acuan pengelolaan daerah

perkotaan terutama hidrologi perkotaan dengan menerapkan konsep drainase berwawasan lingkungan (*eco drainage*) yang sinergis dan tersistem.

Temuan yang ditargetkan (metode, teori, produk, atau masukan kebijakan): 1) mendapatkan waktu banjir dari aliran limpasan di lahan untuk mendesain sumur tampungan 2) Pola aliran drainase akibat dari hujan yang beragam dan tata guna lahan yang berbeda 3) mendapatkan prosentasi efisiensi banjir dengan adanya desain sumur tampungan dari aliran limpasan yang terjadi dengan hujan yang beragam. 4) mendapatkan prosentasi reduksi air yang meresap pada kondisi tanah dan diketahui pula kualitas air (kandungan air dalam tanah) dari aliran air di lahan 5) mendapatkan metode untuk penentuan waktu konsentrasi di model persamaan limpasan dan infiltrasi 6) mendapatkan pengaruh kemiringan lahan dan panjang lahan terhadap ukuranran alat pengukur infiltrasi

Kontribusi mendasar pada suatu bidang ilmu :

Perencanaan drainase yang tidak tepat akan mengakibatkan *over* dan *under design*. Parameter penting dalam menentukan debit banjir rancangan adalah waktu konsentrasi banjir (T_c). Penggunaan waktu banjir, yaitu pemilihan formula dalam merencanakan drainase masih tidak benar. Hal ini yang mendasari penelitian, sehingga formula waktu konsentrasi banjir di saluran tidak lagi digunakan untuk di lahan ataupun sebaliknya. Untuk di lahan, T_c didapatkan dari hubungan antara hujan, limpasan dan infiltrasi. Infiltrasi menjadi faktor reduksi dari hujan dan limpasan, sehingga pengaruh kondisi lahan (tataguna lahan), jenis tanah, dan intensitas hujan akan mempengaruhi waktu konsentrasi banjir dan karena T_c menjadi parameter penting dalam menentukan desain drainase maka T_c perlu untuk dikaji dan diteliti lagi.

Tahapan selanjutnya yaitu untuk penelitian tahap ke – 2 dan ke 3 adalah

Tahun II penelitian adalah mendapatkan **pengembangan model waktu banjir** pada kecepatan aliran di lahan yang dianggap **tidak sama (perlakuan adanya parit, cabang aliran)** pada setiap titik yaitu pada lahan yang berparit dengan tinggi, lebar yang berbeda-beda. Penelitian tahap kedua ini pula dilakukan pada durasi hujan yang menerus dan lebih pendek dari waktu konsentrasi. Sehingga didapatkan perilaku hidrologi, persamaan dasar dari fenomena keseimbangan air yaitu proses hujan, limpasan dan infiltrasi pada suatu lahan, yang menyangkut parameter debit, laju infiltrasi, intensitas hujan, waktu pengaliran dan waktu konsentrasi.

Tahun III penelitian ini adalah mendapatkan pengembangan model waktu konsentrasi banjir di **lapangan** khususnya di wilayah perkotaan dengan parameter karakteristik tanah,

kondisi lahan dan hujan. Tahap ini merupakan tahap verifikasi dari dua tahap sebelumnya serta pada tahun ini juga akan dihasilkan Pola Drainase lahan serta pengaruh T_c dari tata guna lahan perkotaan dengan SIG untuk 2 daerah di Indonesia 1 DAS namun mempunyai karakteristik hidrologi yang berbeda dan program *software*. Sehingga selama 3 tahun penelitian ini konsep pengembangan model persamaan waktu banjir pada setiap kondisi dapat dilakukan secara sinergis dan berkesinambungan.

BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan eksperimen yang dilakukan pada alat simulator hujan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Kemiringan lahan mempengaruhi waktu konsentrasi
2. Luasan lahan mempengaruhi waktu konsentrasi
3. Intensitas hujan mempengaruhi waktu konsentrasi
4. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, waktu konsentrasi akan berbeda pada kemiringan yang berbeda, pada jumlah limpasan yang sama. Karena kondisi lahan dasar permukaan dan jenis tanah yang sama. Kemudian umlah intensitas hujan yang sama.
5. Penentuan waktu konsentrasi berdasarkan jumlah limpasan yang sering muncul dan telah membentuk baris konstan, serta dibandingkan terhadap limpasan rata-rata dari hasil pengukuran. Metode penentuan ini yang menjadi penting dalam menentukan waktu konsentrasi untuk pembentukan model persamaan matematik waktu konsentrasi untuk drainase perkotaan.

7.2 Saran

1. Penelitian untuk kondisi kecepatan yang tidak sama, mempertimbangkan benar untuk kondisi kasar air awal
2. Memperhitungkan kondisi kekasaran permukaan (n) di lahan dalam persamaan T_c
3. Verifikasi penelitian dilakukan dengan menguji T_c pada pemanfaatan tata guna lahan atau penutup lahan dengan mengaplikasikan program GIS

DAFTAR PUSTAKA

- Ben-Zvi, A. (2012). Detention Storage Over 2D Laboratory Watersheds at Concentration Time. *Journal of Hydrologic Engineering*, 1053-1057.
- Chibber, & M-H-L. (2008). Overland flow Time of Concentration. *Journal of the Transportation Research Board*, 133-140.
- Fang, X. (2007, Agustus). Variations of Time of Concentration Estimates Using NRCS Velocity Method. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 314-322.
- Khaerudin, D. N., & Agus Suharyanto, D. H. (2017). Infiltration and Surface Runoff processes on slope and soil compaction with rainfall simulator eksperiment NT. Kuala Lumpur, Malaysia: IAHR World Congress.
- M, E., X, F., S, G., & M, V. (2000). Overland flow and infiltration modelling for small plots during unsteady rain: numerical results versus observed values. *Journal of Hydrology*, 265-282.
- Noorvy, W. D. (2013). Efisiensi Pembangunan Penampungan Air Hujan terhadap Pemanfaatan Air Komersil dan Drainase di Kota Malang. *Eco Rekayasa*, 20-27.
- Richard H. McCuen, S. L. (1984). Estimating Urban Time of Concentration. *Journal of Hydraulic Engineering*, 887-904.
- S, A., Selker, J., & Parlange, J. (2007). A simple accurate method to predict time of ponding under variable intensity rainfall . 43.
- Safarina, A. B. (2008). Waktu Konsetrai DAS Menggunakan Pengembangan Metode Kirpich dan HSS SCS. *ULTIMATE-Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 8-12.
- Wong, T., & Chen, C. (1997). Time of Concentration formula for sheet flow of varying flow regime.

LAMPIRAN 1 PERSONALIA TENAGA PELAKSANA

No.	Nama	NIDN	Instansi Asal	Bidang Ilmu	Alokasi Waktu Jam/Minggu	Uraian Tugas
1	Dr. Eng. Donny Harisuseno, ST., MT	0027027503	Teknik Pengairan Universitas Brawijaya	Hidrometeorologi dan Statistik	15	1. Menentukan rancangan percobaan untuk penelitian di laboratorium terutama untuk pasir kuarsa dengan kondisi kecepatan yang sama dan beda 2. Melaksanakan pengukuran limpasan di laboratorium 3. Menganalisis nilai limpasan terhadap variabel yang berpengaruh, mendapatkan model limpasan dan menentukan waktu konsentrasi banjir dari model limpasan 4. Menganalisis hubungan antar variabel pengaruhnya terhadap model waktu konsentrasi dari proses hujan, limpasan dan infiltrasi 5. Membuat artikel ilmiah untuk dapat di Seminar Internasional 6. Membuat artikel ilmiah untuk Jurnal Internasional 7. Mempersiapkan HKI untuk Model Persamaan Tc Limpasan 8. Membuat bahan buku ajar Drainase Perkotaan
2	Dr. Dian Noorvy Khaerudin, ST., MT	0019037602	Universitas Tribhuwana Tunggadewi Malang	Irigasi dan Drainase Perkotaan	15	1. Menentukan rancangan percobaan untuk penelitian di laboratorium terutama untuk tanah dan pelaksanaan pengukuran laju infiltrasi di lapangan 2. Melaksanakan pengukuran limpasan di laboratorium 3. Menganalisis nilai infiltrasi dari pengurangan hujan menjadi limpasan terhadap variabel yang berpengaruh, mendapatkan model infiltrasi dan menentukan waktu konsentrasi banjir dari model infiltrasi yang terbentuk 4. Menganalisis hubungan antar variabel pengaruhnya terhadap model waktu konsentrasi dari proses hujan, limpasan dan infiltrasi 5. Membuat artikel ilmiah untuk dapat di Seminar Internasional 6. Membuat artikel ilmiah untuk Jurnal Internasional 7. Mempersiapkan HKI untuk Model Persamaan Tc Infiltrasi 8. Membuat bahan buku ajar Drainase Perkotaan 9. Mendaftarkan paten untuk alat pengukur laju infiltrasi. 10. Membuat bahan buku ajar Drainase Perkotaan
3	Dr. Riyanto Haribowo, ST., MT	0024047701	Teknik Pengairan Universitas Brawijaya	SIG, Kualitas Tanah dan Air, Pemodelan	15	1. Merancang pelaksanaan penelitian di lapangan 2. Mempersiapkan peta dan software SIG untuk menentukan tataguna lahan 4. Menggambarkan pola drainase di laboratorium 5. Menganalisis hasil Tc di laboratorium bila dipetakan di lapangan 6. Membuat artikel ilmiah untuk dapat di Seminar Internasional 7. Membuat artikel ilmiah untuk Jurnal Internasional 10. Membuat bahan buku ajar Drainase Perkotaan
4	Mahasiswa Tugas Akhir I dan asisten lab dan 4 orang PKL (Praktek Kerja Lapang) mhs UNITRI	A	Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Tribhuwana Tunggadewi	Infiltrasi dengan TurfTec	25	1. Survei dan identifikasi lokasi penelitian dan membantu pengukuran laju infiltrasi di lapangan 2. Menguji gradasi tanah dan sifat fisik tanah 3. Mengukur kemiringan tanah 4. Menguji Kepadatan tanah 5. Mengukur laju infiltrasi tanah dengan alat Turftec
3.	Mahasiswa Tugas Akhir II dan asisten lab	B	Mahasiswa Teknik Pengairan Univ. Brawijaya	Limpasan dengan Rainfall Simulator	25	1. Survei dan identifikasi lokasi penelitian 2. Menguji gradasi tanah dan sifat fisik tanah 3. Mengukur kemiringan tanah 4. Menguji Kepadatan tanah 5. Menguji intensitas hujan 6. Mengukur Limpasan di laboratorium dengan rainfall simulator 7. Menganalisis limpasan mendekati konstan pada kondisi tanah padat, kemiringan lahan, dan gradasi yang berbeda
4.	Mahasiswa Tugas Akhir III dan asisten lab	C	Mahasiswa Teknik Pengairan Univ. Brawijaya	Infiltrasi dengan Rainfall Simulator	25	1. Survei dan identifikasi lokasi penelitian 2. Menguji gradasi tanah dan sifat fisik tanah 3. Mengukur kemiringan tanah 4. Menguji Kepadatan tanah 5. Menguji intensitas hujan 6. Mengukur Limpasan di laboratorium dengan rainfall simulator 7. Menganalisis limpasan mendekati konstan pada kondisi tanah padat, kemiringan lahan, dan gradasi yang berbeda 8. Mendapatkan laju infiltrasi konstan dari intensitas hujan -limpasan konstan

LAMPIRAN 2 ARTIKEL ILMIAH SEMINAR NASIONAL

HATHI 7 – 9 September 2018



LAMPIRAN 3 ARTIKEL ILMIAH INTERNASIONAL IAHR-APD

34 – 7 September 2018



LAMPIRAN 4 Submitted ---- ARTIKEL INTERNASIONAL

Time of concentration based infiltration under different soil density, water content, and slope during a steady rainfall

Abstract

Time of concentration, T_c , is defined as time elapsed from the beginning of rainfall infiltrated into soil layer until it reaches a constant infiltration rate (f_c) which is indicated an equilibrium subsurface flow rate. In hydrological view, time of concentration plays a significant role in elaboration of transformation of rainfall into runoff in a watershed. The aims of this research are to incorporate influence of soil density and soil water content in determining time of concentration using infiltration concept based on water balance theory, and to find out effect of land slope, water content and soil density on time of concentration. Watershed laboratory experiment using rainfall simulator was employed to examine time of concentration associated with infiltration process under different slope, soil density and soil water content based on water balance concept. The steady rainfall intensity was simulated using sprinklers which produced 2 liters/min. Rainfall, runoff and infiltration analysis were carried out at laboratory experiment on soil media with varied of soil density (d) and soil water content (w), where variation of land slopes (s) were designed in three land slopes 2%, 3% and 4%. The result found that relationship between soil density and land slope to time of concentration showed a quadratic positive relationship where the higher the soil density address to the longer time of concentration. Moreover, time of concentration has an inverse relationship with soil water content and land slope that means time of concentration decrease when the soil water content increase.

Key words: *time of concentration, infiltration, runoff, slope, water content*

INTRODUCTION

Time of concentration, T_c is one of the fundamental parameters in urban drainage planning which is defined as the time needed for a parcel of water to travel from the hydraulically most distant point of a watershed to a reference point downstream [ALMEIDA *et al.* 2017]. BEN-ZVI [2012], defined T_c as the time elapsed from the onset of rainfall until it reaches equilibrium flow rate. Some researches regarded T_c as the period from the commencing of effective rainfall to the period at which the flow reached 95 percent and 98 percent of equilibrium discharge such as described by SU, FANG [2004]; WONG [2005].

Time of concentration, T_c , plays a significant role in the explanation of the transformation of rainfall into runoff in a watershed [MICHAILIDI *et al.* 2018]. In regard with water resources engineering applications, T_c has been widely employed in hydrological design tools as an input variable for common methods of rainfall runoff relationship, such as the Rational method and the concept of unit hydrograph. BEN-ZVI [2013] stated that information of T_c is needed for problems hydrology for estimating the design flood as a basis for planning a drainage system such as storm sewer, pipe, road side ditches, detention/retention facilities, and pump system. LEE, CHANG [2005] applied Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph (GIUH) based on travel time probability distributions for runoff in surface flow and subsurface flow.

Many studies have been carried out to study concerning time of concentration as a function of length of watershed, surface roughness of watershed, slope of watershed, and rainfall intensity [HAN LI, CHIBBER 2008; WONG 2005; CHEN, WONG 1993]. Most of the empirical formulas to estimate T_c use the reciprocal of topographic slope S_o [MANOJ *et.al* 2014]. However, as far as our concern, the majority of previous studies did not consider the effect of soil characteristics, particularly soil density and water content on the time of concentration. Those previous studies only consider the effect of land surface characteristics on the time of concentration. A study conducted by LIMA [2003] showed that the concept of time of concentration was determined only by considering runoff variables. In this study, the determination of the time of concentration was carried out using the concept of water balance on land which included not only runoff variable but also takes into account the variables of rainfall and infiltration that occurred. Runoff and infiltration rate are influenced by variables of rainfall, land slope, and soil characteristics. The soil characteristic variable comprises the physical properties of the soil and the condition of the land surface. The physical properties of the soil include soil grain distribution, soil porosity, void ratio, water content, degree of saturation, specific gravity (G_s), dry soil weight, and wet soil weight, while the condition of land surface of land use type, land cover type, soil density due to compaction from building loads above the soil. Infiltration rate was affected by the variable of slope, rain intensity, and soil properties such as infiltration rate is influenced by a number of factors such as bulk density, porosity, soil moisture, and soil texture [NASSIF, WILSON 1975; SURYOPUTRO *et.al* 2018; HAGHNAZARI *et.al* 2015; CZYŻYK, ŚWIERKOT 2017]. GREGORY *et al* [2006] studied about the effect of various levels of soil compaction on infiltration rates of sandy urban development sites as compared to uncompacted infiltration rates and found that there could be a significant difference between the effect of compaction caused by relatively

light construction equipment and very heavy equipment on infiltration rate. Soil compaction was shown to have a negative effect on infiltration rates of soils. ANDERSON [2009] conducted research on infiltration at agroforestry and found that infiltration measurements in clay soils were highly



Fig. 1. Rainfall Simulator of Hydrology System SK-III Armfield
Source: Own Documentation

influenced by antecedent soil water content. WANGEMANN *et.al* [2000] carried out rainfall simulation on bare land under varying soil water content and concluded that increasing soil water content resulted in lower infiltration rates. LIU, SINGH [2004] found that when the land slope gradient decreases to some small value, the unit discharge decreases because of the increase in infiltration rate, conversely the infiltration rate will decrease on increasingly steep lands. GHOLAMI *et.al* [2014] examined infiltration and time to drainage on sandy-loam soil using laboratory experiment.

However, most of the previous studies only considered the affect of soil density and soil water content on infiltration rate, did not attempt to examine their influence on time of concentration (T_c). Furthermore, the previous studies only discussed on time of concentration (T_c) that correspond to surface runoff occurrence. Yet, studies examining time of concentration (T_c) associated with infiltration process under different slope, soil density and soil water content are limited. In this study, the time of concentration (T_c) is defined as the time elapsed from the beginning of rainfall infiltrated into soil layer until it reaches a constant infiltration rate (f_c) which is indicated an equilibrium subsurface flow rate. Thereby, the time of concentration (T_c) does not attribute to time correspond to surface flow rate occurrence but more refer to subsurface flow rate occurrence.

Thus, the purposes of this research were to: 1) incorporate the influence of soil density

and soil water content in determining the time of concentration using infiltration concept based on water balance theory, and 2) to find out the effect of land slope, water content and soil density on the time of concentration beside rainfall intensity.

METHODS

Total runoff is directly related to the duration of rainfall at a certain intensity, as it is
Table 1. Soil properties of sampling media

Media	Water Content (w), (%)	<i>Specific Gravity (Gs)</i>	Void Ratio (e)	Porosity (n)	Saturated Degree (Sr)
Soil U114	34.59	2.67	1.054	0.513	0.386

Source: Own study.

Table 2. Soil grain size used in this study

Media	Soil Grain Size		
	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
Soil U114	19.0	38.7	42.3

Source: Own study.

confirmed by Horton (BEVEN, 2004). The effect of rainfall intensity on runoff is highly dependent on the level of infiltration process. Therefore, runoff is always in accordance with the increasing in rainfall intensity. The concept of water balance is managed through the relationship between rainfall, runoff, and infiltration, and the balance is influenced by factors such as soil characteristics, land treatment, and rainfall intensity. The effect of soil physical characteristics on hydrological aspect is demonstrated through overland flow and absorption of water into the soil. Rainfall which affects infiltration can be observed by observing the level of water entering and leaving the catchment area. Infiltration is derived by determining reduction of rainfall to runoff depth.

The rain simulator used in the Watershed Experimental Laboratory were utilized to observe behaviour of rainfall flowing over and through a soil surface. The equipment was employed to collect data regarding runoff and infiltration from several different types of soil, at various slopes and under widely differing rainfall intensities. This instrument was equipped with an rectangular experimental watershed tank on dimensions of 2 m long x 1.2 m wide x 0.3 m depth which was shown in Figure 1. The top of the experimental catchment tank has nozzles that regulates the diameter of the falling raindrops. The experimental watershed tank

also has two pipes with pores at the bottom side. These pipes are installed into the tank to facilitate runoff measurement.

Soil testing analysis in this research conducted on five soil parameter, namely water content, soil density, porosity, void ratio and degree of saturation as shown in Table 1. The specific gravity of soil sample showed value of 2.67, which indicates that the soil samples included in granular soil groups, non-cohesive, and high in organic matter. Furthermore, analysis of the degree of saturation in soil samples exhibited the value of 0.386, which means that the soil samples are included in the category of moist soil. Table 2 shows the composition of sand, silt and clay in the soil samples used in this research. Based on Table 2, it can be noticed that the composition of the sand grain was 19% which found the largest percentage in soil samples followed by silt and clay of 38.7% and 42.3%, respectively. This indicates that the soil samples included in the group granular soil with organic matter content that feasible to used in different soil density.

Data sources used in the study were obtained from the direct observation in the laboratory. Variables which were considered in the study comprised of rainfall, land slope and soil characteristics. These three variables were observed and examined in the laboratory to obtain runoff data produced from the rain simulator instrument [HAN LI, 2008]. The soil physical characteristics observed included soil texture, water content, soil grain size, porosity, void ratio, specific gravity, and soil saturated degree. The steady rainfall intensity was simulated using sprinklers which produced 2 liters/min. The rainfall runoff analysis were performed at laboratory experiment on the soil media with varied of soil density (d) and soil water content (w), where variation of land slopes were designed in three land slopes 2%, 3% and 4%.

Infiltration rate

Infiltration rate is the velocity at which rain water penetrates into the soil during rainfall event. The infiltration rate is measured by unit of length per time which is same unit with rainfall intensity. The relationship between the rate of infiltration and runoff is often shown during rainfall with a constant intensity. Curve of infiltration rate is characterized by the maximum at the beginning of rainfall event but then decreases with prolonged rainfall until it reaches a constant rate.

Infiltration rate (f) is measured by the unit of centimeter per hour or millimeter per hour. If water is inundated in case of an overland flow occurrence, the infiltration is expressed as potential infiltration rate or infiltration capacity. If water supply or rainfall intensity on soil surface is smaller than the potential infiltration rate, then actual infiltration rate is smaller than the potential infiltration rate. Cumulative infiltration (F) is the accumulation of infiltrated depths at certain period, and the rate is similar to the integral of infiltration at that period which is shown in the following equation:

$$F(t) = \int_0^t f(t) \partial t \quad (1)$$

Where, $F(t)$ is cumulative infiltration; $f(t)$ is infiltration rate; and t is observation time. Infiltration rate is the derivative of cumulative infiltration which could be described as follows :

$$f(t) = \frac{\partial F(t)}{\partial t} \quad (2)$$

Where, t time, f infiltration rate, F Cumulative Infiltration. Horton formula (1930) used in the study in order to estimate curve of infiltration rate where the Horton concept explained that infiltration rate for a given soil decreases with time from the beginning of rainfall event [BEVEN 2004] as shown in the following equation:

$$f_t = f_c + (f_o - f_c)e^{-Kt} \quad (3)$$

Where, f_t is infiltration capacity at any time t from time beginning of rainfall, f_o is initial infiltration capacity at $t = 0$, f_c is final constant infiltration rate, t is duration of rainfall, and K is constant depending upon the soil characteristic and land cover. The initial infiltration rate f_o was analyzed from laboratory measurement which subsequently used in Horton formula to obtain the infiltration rate. The result of infiltration rate from Horton formula then used to identify time period when the constant infiltration rate (f_c) was reached as a basis for estimating the time of concentration (T_c).

RESULTS AND DISCUSSION

Infiltration capacity in liter/minute is flow capacity which could be retained in soil layer at a particular time. Infiltration capacity occurs when the rain intensity exceeds the ability of the soil to infiltrate rainwater. The maximum infiltration capacity of the soil has a constant magnitude during the time of concentration. The maximum soil infiltration capacity was obtained by reducing rainwater with runoff [HJELMFELT, 1978]. The laboratory experiment using rainfall simulator was employed in the present study. The observation of rainfall, runoff hydrograph, and infiltration become the main variable which was observed on in the laboratory

experiment. The kinematic wave law in the water balance concept was used to obtain infiltration rate which was derived by subtracting rainfall to runoff. Subsequently, the infiltration model resulted from rainfall and runoff relationship analysis was used for estimating the time of concentration (T_c). The slope of the watershed experimental tank which was represented as catchment area was designed in three type of slopes, 2%, 3% and 4%.

Runoff measurement with rainfall simulator instrument employs the concept of water balance. Figure 2 and 3 showed the relationship among rainfall, runoff, and infiltration based

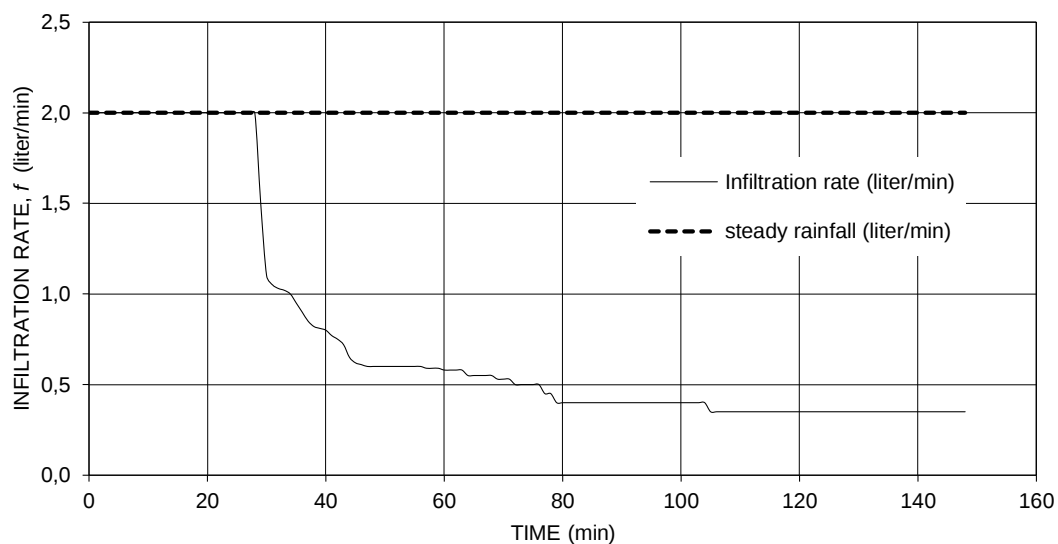


Fig. 2. Infiltration rate during observation time

Source: own study.

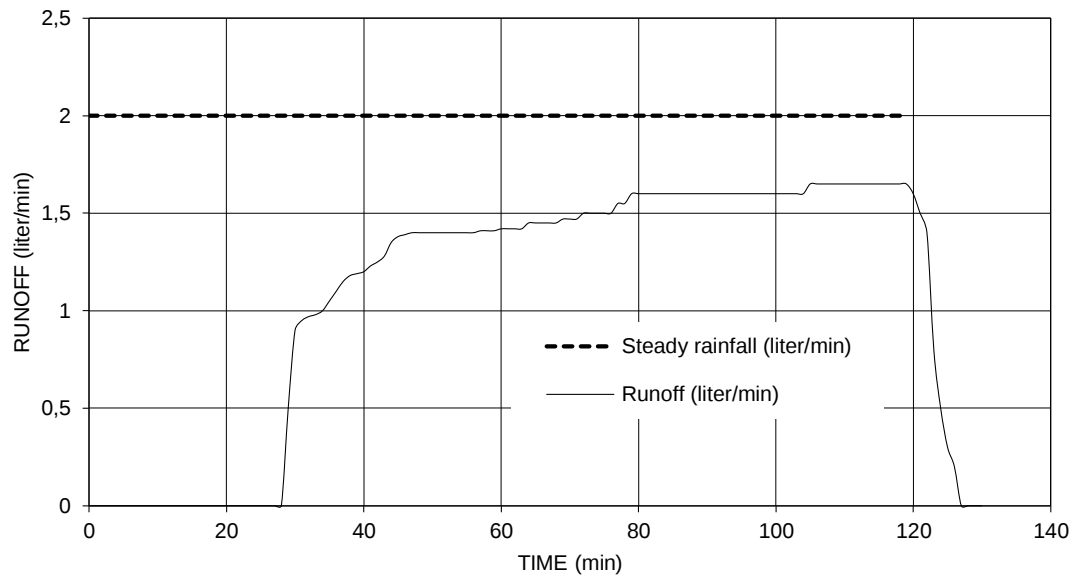


Fig. 3. Runoff during observation time

Source: own study.

on laboratory observation and measurement. Figure 2 denotes the relationship of the rainfall duration with the infiltration rate which was gained from subtraction of rainfall to runoff. Based on Figure 2 it could be shown that at the beginning of time 0 to 30 minutes represented an occasion when rainfall began to infiltrate into the soil layer to a condition where rainfall will overflow on the land surface. The infiltration rate at time 0 to 30 minutes has a magnitude corresponding to the rainfall intensity which is of 2 liters/min which indicates that the rainfall was infiltrated entirely into the soil during those time periods. Furthermore, Figure 2 expressed that the infiltration rate declined until it reached the constant infiltration rate

(f_c)

0.35

liters/min

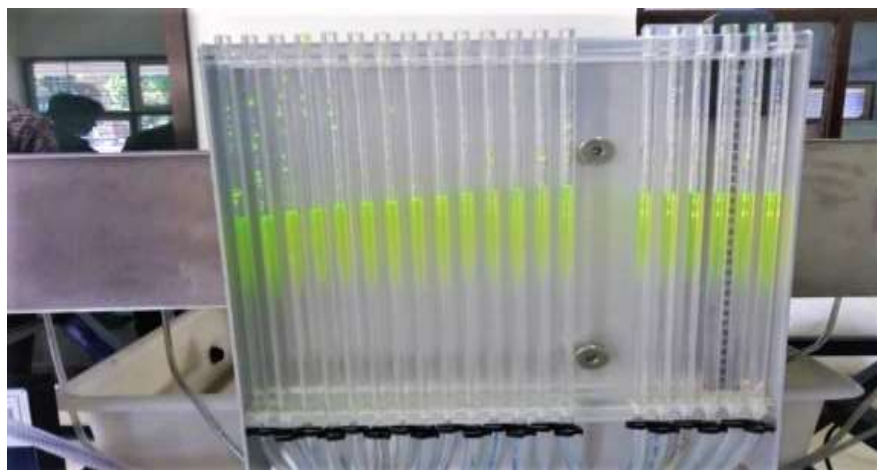


Fig. 4. Piezometer height at constant infiltration capacity

Source: own study

in 105 minutes which was most likely induced by increasing in water content, soil porosity and degree of soil saturation.

The association between the rainfall duration and runoff that takes place on the land surface is displayed in Figure 3. Measurement of runoff refers to the part of the rainwater that is not infiltrated into the soil. The runoff process start to begin on 30 minutes when the soil infiltration capacity initiates to decrease due to the occupying of the soil porosity by infiltrated rainwater. The runoff will remain to increase until the rainfall duration reaches around 50 minutes, and subsequently, the runoff will have a constant magnitude 1.40 l i t e r s / m i n w h e n t h e entire soil porosity condition has been filled with infiltrated rainwater. The runoff that takes place on the land surface is influenced by the slope of the land and the characteristics of the soil on the land. From Figure 3, it can be identified that the infiltration capacity of the soil attained the maximum condition when the rainfall duration was 120 minutes of length where the constant magnitude of runoff had occurred in the land surface which was 1.65 liters/min. This means that the infiltration process stops at rain events with a duration of more than 120 minutes. Figure 4 displayed the constant height of piezometer which indicated the soil infiltration capacity reach maximum and the runoff showed a steady condition .

The measurement was performed every 10 seconds and data processing was initiated after reading data for 10 seconds. As previously mentioned that the Horton formula employed as an approach to estimating the value of time of concentration (T_c). The result exhibited that K parameter in the Horton formula shows changes depend on soil characteristic particularly the water content and void ratio. Additionally, the study found that the high the infiltration rate (f_p) had been occurred in the soil with a low density having higher water content and void ratio.

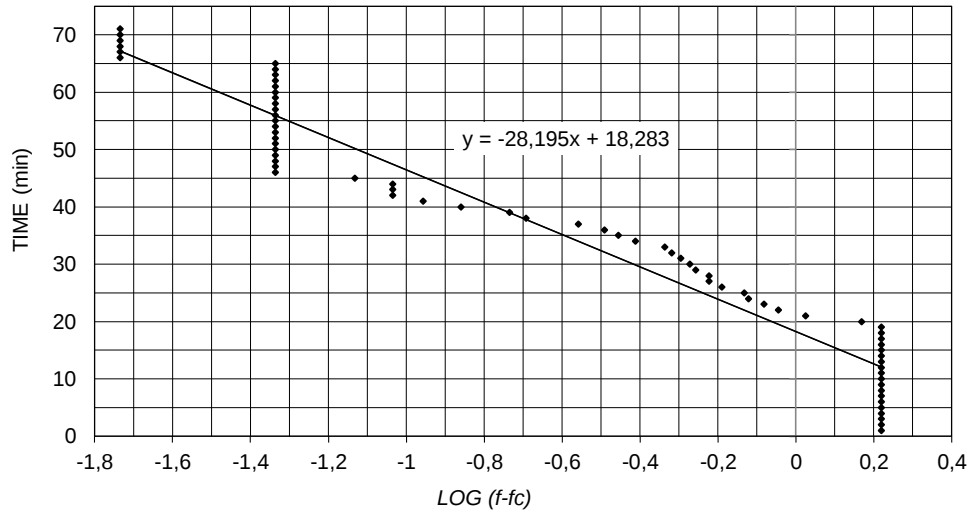


Fig. 5. Relationship between observation time (t) and $\text{Log}(f-f_c)$

Source: own study

Further, the study confirmed that the land slope and soil density had an influence in the constant infiltration rate (f_c). The constant infiltration (f_c) was smaller at the land with the steep slope and characterized by high soil density. The analysis was showed that the infiltration rate (f_p) increase with the decrease in value of K parameter and time period (t) while the infiltration rate (f_p) decrease along with decreasing of the constant infiltration rate (f_c). The time of concentration (T_c) was determined from the Horton infiltration rate model which is explained as follows [DIJCK, ASCH 2002]:

$$f_p - f_c = (f_o - f_c)e^{-Kt} \quad (4)$$

The right and left sections of the equation (4) are elaborated in form of logarithmic which is displayed in the following equation (5), (6) and (7):

$$\log(f_p - f_c) = \log(f_o - f_c) - Kt \log e \quad (5)$$

$$t = -\frac{1}{K \cdot \log e} \cdot \log(f_p - f_c) + \frac{1}{K \cdot \log e} \cdot \log(f_o - f_c) \quad (6)$$

$$t = -1/(K \cdot \log e) \cdot (\log(f_p - f_c) + \log(f_o - f_c)) \quad (7)$$

Equation (7) has a common form $y = mx + c$ which has a straight line regression with a slope m which is equal with $m = 1/(K \cdot \log e)$. Figure 5 displayed the relationship between observation time (t) and $\text{Log}(f-f_c)$. From Figure 6, it could be showed that the equation the value of $m = 1/(K \cdot \log e)$ has negative score -28.195 which indicate that the infiltration rate (f_p) decreases with the increasing of time observation (t). The value of time period will reach a maximum at

the minimum of the infiltration rate (f_p) until it showed a constant value of time period which is indicated that the difference between the infiltration rate (f_p) and the constant infiltration rate (f_c) close to 0 (zero).

The result of Horton model of infiltration rate equation was shown in the following equation:

$$f = 0,1846 + 1,6613e^{-0,0817t}$$

Based on Horton formula in equation (7), the estimation of time of concentration (T_c) could be performed by integrating ($f_p - f_c$) into equation (7).

Table 3 Time of concentration (T_c) with variation of soil density (d) and land slope (s)

Soil density (d)	Slope (s), %		
	2%	3%	4%
	Time of Concentration, T_c (min)		
0.83	72.45	52.30	51.97
0.56	40.19	45.54	26.15
0.34	41.40	47.83	26.70
0.23	40.82	46.75	26.44
0.96	75.12	57.58	55.99
0.67	33.76	30.77	23.54
0.44	33.68	30.56	23.51
0.28	26.62	9.08	21.12
1.09	83.79	60.12	43.82
0.76	32.82	28.22	23.19
0.49	35.82	35.97	24.33
0.31	39.84	44.84	26.00

Source: own study

The relationship between soil density with time of concentration (T_c)

Table 3 denotes the characteristics of the time of concentration (T_c) on the land surface with varying slope and soil density. Graphical presentation of the relationship between the time of concentration (T_c) with the soil density variation on varies land slope appears in Figure 6. The figure described that on the land surface with an identical slope, the higher the soil density shows the longer the time of concentration (T_c). This is most likely due to the high soil density having less pore space. The limitation pore space in the soil address to low infiltration rates. The time of concentration (T_c) is shorter in soils with low density due to the high infiltration rate caused by available of pore space. For the soil which having similar soil density, the steeper the slope of the land surface shows the shorter the time of concentration (T_c). The results agreed with NASSIF [1975]; GREGORY *et.al* [2006] which found that infiltration rate decreased in

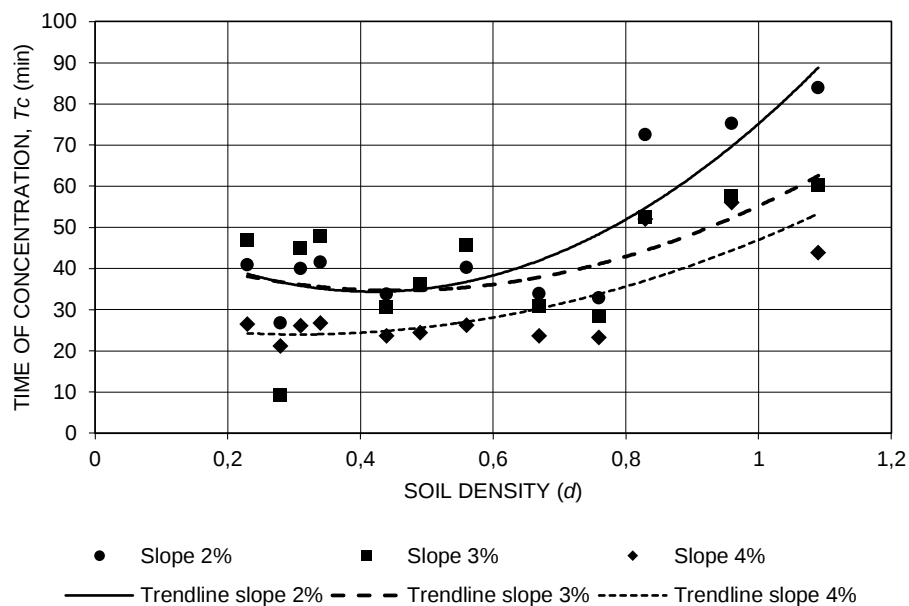


Fig. 6. Graphic representation of T_c with soil density (d) and land slope (s)

Source: own study

increasingly either soil density and land slope.

The slope of the land influences the ability of the soil to absorb rainwater where on the land with a mild slope the soil has a high infiltration rate compared to a steep slope [FOX, 1997]. The infiltration process on certain land with sloping slopes is influenced by gravitational and soil capillary forces where the gravitational force that affects the rate of infiltration is restricted by the motion perpendicular to the ground through the soil profile. Thus,

a land with the mild slope will have a high infiltration rate because of the magnitude of gravitational force which affects the rate of water infiltrated into the soil. The infiltration rate low on steep slopes due to decreasing of the effectiveness of gravitational force in influencing the rate of water infiltrated into the soil. Soil capillary forces work on soil pores that flow up, down and horizontal direction. In soils with high density, the effect of capillary forces on the rate of water infiltrated into the soil is tiny because of the lack of pore space in the soil. Thus, the low infiltration rate occurs on high density soils which cause the longer time of concentration.

The results of ANOVA analysis to measure the effect of soil density variations and slope on the time of concentration (T_c) show R^2 of 0.78 which implies that 78% of the variability of the time of concentration (T_c) has been explained by the variation of soil density and slope. The relationship of variation in the soil density to the time of concentration (T_c) on the land surfaces with slope variation of 2%, 3%, and 4% show a positive relationship where the higher the soil density address to the longer the time of concentration (T_c).

The relationship between water content and slope with T_c

Table 4 displayed the characteristics of the time of concentration (T_c) on the land surface under different slope (s) and water content (w). Figure 7 exhibited the representation of time of concentration (T_c) with land slope (s) and soil water content (w). For the land with relatively similar slope, the figure showed that the time of concentration (T_c) has an inverse relationship with the soil water content (w) where the time of concentration (T_c) decline when the

soil

water

Table 4 Time of concentration (T_c) with variation of water content (w) and land slope (s)

Water content, w (%)	Slope (s), %		
	2%	3%	4%
	Time of Concentration, T_c (min)		
19.93	72.45	52.30	51.98
31.89	40.19	45.54	26.16
31.44	41.40	47.83	26.70
31.655	40.82	46.75	26.44
18.94	75.12	47.82	56.00
34.27	33.77	30.77	23.54
34.3	33.69	30.56	23.51
36.92	26.62	9.09	21.12
22.4	65.79	60.12	43.82
34.62	32.82	28.22	23.20
33.51	35.82	35.97	24.33
32.02	39.84	44.85	26.00

Source: own study

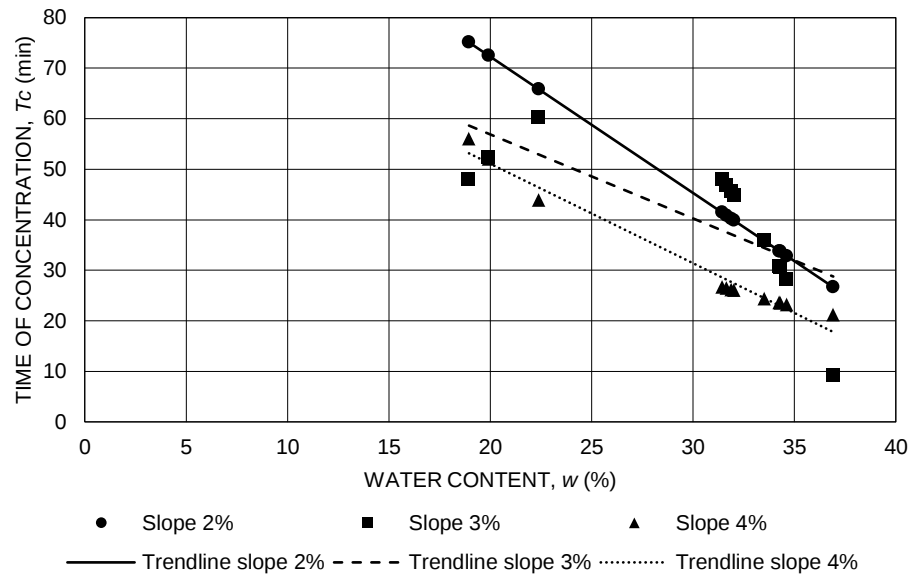


Fig. 7. Graphic representation of T_c with land slope (s) and water content (w)

Source: own study

content (w) increase. This condition most probable caused by high degree of soil saturation due to increasing of the soil water content (w). The result of the analysis demonstrated that the soil water content (w) significantly affects the time of concentration (T_c) when the soil water content is less than 25%. Thus, from Figure 7, it could be identify that the pattern of time of concentration (T_c) for the soil water content higher than 25% showed disorder pattern. The soil water content closely associated with soil degree of saturation, hence the high the soil water content indicates the high soil degree of saturation. Thus, the high soil degree of saturation cause increasing on the time of concentration (T_c). The influence of soil water content (c) and slope on the time of concentration (T_c) using ANOVA showed R^2 of 0.61 which denoted that 61% of the variability of the time of concentration (T_c) has been described by the variation of soil water content (w) and slope. The relationship of variation in the soil water content (w) to the time of concentration (T_c) on the land surfaces with slope variation of 2%, 3%, and 4% show a negative relationship where the higher the water content attribute to the longer the time of concentration (T_c).

CONCLUSIONS

Watershed laboratory experiment using rainfall simulator was employed to examine time of concentration associated with infiltration process under different slope, soil density and soil water content based on water balance concept. In this study, time of concentration defined as time elapsed from the beginning of rainfall infiltrated into soil layer until it reaches a constant infiltration rate (f_c) which is indicated an equilibrium subsurface flow rate. Hence, time of concentration discussed here has an importance role in estimating subsurface flow rate rather than surface runoff. Variation in soil density and land slope to time of concentration showed a quadratic positive relationship where the higher the soil density address to the longer time of concentration. On the other hand, time of concentration has an inverse relationship with soil water content and land slope that means time of concentration decrease when the soil water content increase. Determination coefficient (R^2) showed that 78% of variability of the time of concentration was explained by soil density and slope, whereas 61% described by soil water content and land slope. The future research work could be carried out to develop mathematical relationship of influence of land slope, soil water content, and soil density on time of concentration. There will be a possibility to introduce other soil and land surface characteristics in order to obtain behaviour of time of concentration more realistic.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like express our deep gratitude and appreciation toward the Laboratory of Hydrology, Department of Water Resources Engineering, University of Brawijaya and DP2M Ministerial of Research, Technology and Higher Education, Directorate General of Higher Education Technology for providing grants to support our research.

REFERENCES

- ALMEIDA I.K., ALMEIDA A.K., GABAS S.G., SOBRINHO TA. 2017. Performance of methods for estimating the time of concentration in a watershed of a tropical region. *Hydrological Sciences Journal*. Vol. 62. Iss. 14 p. 2406–2414.
- ANDERSON S.H., RANJITH P.U., SEOBİ T., GARRET H.E. 2009. Soil water content and infiltration in agroforestry buffer strips. *Agroforest System*. Vol. 75. p. 5–16.
- BEN-ZVI, A. 2012. Detention storage over 2D laboratory watersheds at concentration time. *Journal of Hydrologic Engineering*. Vol. 17 (9), 1053–1057.
- BEN-ZVI, A. 2013. Bypassing determination of time of concentration. *Journal of Hydrologic Engineering*. Vol. 18 (12), 1674–1683.
- BEVEN K. 2004. Robert E. Horton's perceptual model of infiltration processes. *Hydrological Process*. Vol. 18. p. 3447–3460.
- CHEN C.N., WONG S.W. 1993. Critical rainfall duration for maximum discharge from overland plane. *Journal of Hydraulic Engineering*. Vol. 119. p. 1040–1045.
- CZYŻYK F., ŚWIERKOT Z. 2017. Recharging infiltration of precipitation water through the light soil, in the absence of surface runoff. *Journal of Water and Land Development*. No. 32 p. 25–30.
- DIJCKA S.J.E., ASCH T.W.J. 2002. Compaction of loamy soils due to tractor traffic in vineyards and orchards and its effect on infiltration in southern France. *Soil & Tillage Research*. Vol. 63. p. 141–153.
- FOX D.M., BRYAN R.B., PRICE A.G. 1997. The influence of slope angle on final infiltration rate for interrill conditions. *Geoderma*. Vol. 80. p. 181–194.
- GHOLAMI L., BANASIK K., SADEGHI S.H., DARVISHAN A.K., HEJDUK L. 2014. Effectiveness of straw mulch on infiltration, splash erosion, runoff and sediment in laboratory conditions. *Journal of Water and Land Development*. Vol. 22 p. 51–60.
- GREGORY J.H., DUKES M.D., JONES P.H., MILLER G.L. 2006. Effect of urban soil compaction on infiltration rate. *Journal of Soil and Water Conservation*. Vol. 61. No. 3 p. 117–124.

- HAGHNAZARI F., SHAHGHOLI H., FEIZI M. 2015. Factors affecting the infiltration of agricultural soils. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*. Vol. 6. No. 5 p. 21–35.
- HAN LI M., CHIBBER P. 2008. Overland Flow Time of Concentration on Very Flat Terrains. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. No. 2060. p. 133–140.
- HJELMFELT A.T. 1978. Influence of infiltration on overland flow. *Journal of Hydrology*. Vol. 36. p. 179–185.
- LEE K.T., CHANG C.H. 2005. Incorporating subsurface-flow mechanism into geomorphology-based IUH modeling. *Journal of Hydrology*. Vol. 311. p. 91–105.
- LIMA J.L.M.P. 2003. Laboratory experiments on the influence of storm movement on overland flow. *Physics and Chemistry of the Earth*. Vol. 28. Iss. 6-7 p. 277–282.
- LIU Q.Q., SINGH V.P. 2004. Effect of Microtopography, Slope Length and Gradient, and Vegetative Cover on Overland Flow through Simulation. *Journal of Hydrologic Engineering*. Vol. 9. No. 5 p. 375–382.
- MANOJ K.C., FANG X., YI Y.J., HAN LI M., THOMPSON D.B., CLEVELAND T.G. 2014. Improved Time of Concentration Estimation on Overland Flow Surfaces Including Low-Sloped Planes. *Journal of Hydrologic Engineering*. Vol. 19. No. 3 p. 495–508.
- MICHAILIDI E.M., ANTONIADI S., KOUKOUVINOS A., BACCHI B., EFSTRATIADIS A. 2018. Timing the time of concentration: shedding light on a paradox. *Hydrological Sciences Journal*. Vol. 63. Iss. 5 p. 721–740.
- NASSIF S.H., WILSON E.M. 1975. The influence of slope and rain intensity on runoff and infiltration. *Hydrological Sciences Journal*. Vol. 20. Iss. 4 p. 539–553.
- SU D., FANG X. 2004. Numerical modeling and turbulence closure techniques for shallow flows. In: *Estimating traveling time of flat terrain by 2-dimensional overland flow model*. Ed. H.J. Gerhard, S.J.U. Wim. The Netherlands. A.A.BALKEMA, MEMBER OF TAYLOR & FRANCIS GROUP. p. 629–635.
- SURYOPUTRO N., SUHARDJONO., SOETOPO W., SUHARTANTO E., LIMANTARA L.M. 2018. Evaluation of infiltration models for mineral soils with different land uses in the tropics. *Journal of Water and Land Development*. Vol. 37 (IV-VI) p. 153–160.
- WANGEMANN S.G., KOHL R.A., MOLUMELI P.A. 2000. Infiltration and percolation influenced by antecedent soil water content and air entrapment. *American Society of Agricultural Engineers*. Vol. 43. No. 6 p. 1517–1523.
- WONG S.W. 2005. Assessment of time of concentration formulas for overland flow. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. Vol. 131. Iss. 4 p. 383–387.

LAMPIRAN 5 DRAFT SUB BUKU AJAR :

WAKTU KONSENTRASI PADA PERENCANAAN DRAINASE PERKOTAAN

Waktu konsentrasi adalah (Service, 2010) waktu yang diperlukan untuk limpasan mengalir dari jarak hidrolik terjauh di suatu daerah aliran menuju pengeluarannya (*outlet*). Untuk hujan yang seragam, lama waktu ini sama dengan waktu keseimbangan, yang laju alirannya sama dengan laju penambahan hujan. Definisi waktu konsentrasi menurut beberapa peneliti adalah : (1) Waktu tempuh pengaliran dari titik hidrolik paling jauh di daerah tangkapan air menuju *outlet*nya, waktu konsentrasi diartikan juga sebagai waktu hingga tercapainya keseimbangan air yaitu pada saat kondisi daerah tangkapan air tetap terhadap curah hujan efektifnya (Bedient, 2008). (2) Waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir dari titik yang paling jauh ke suatu titik tinjau tertentu (misalnya di titik di muara drainase) pada suatu daerah pengaliran hingga akan didapatkan debit yang maksimum. Waktu konsentrasi dapat dihitung dengan membedakannya menjadi dua komponen yaitu waktu konsentrasi terdiri dari waktu yang dibutuhkan oleh air hujan untuk mengalir diatas permukaan tanah ke saluran yang terdekat (t_o) dan waktu yang diperlukan air hujan mengalir di dalam saluran (t_d) (Suripin, 2004), sehingga :

$$t_c = t_o + t_d$$

Untuk t_o dapat dihitung dengan rumus :

$$t_o = \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{n}{\sqrt{S}} \right)$$

Sedangkan untuk t_d dapat dihitung dengan rumus :

$$t_d = \frac{L_s}{60V}$$

Keterangan :

t_c	= waktu konsentrasi
t_o	= waktu limpasan menuju saluran (menit).
t_d	= waktu aliran pada saluran dari satu titik ke titik lainnya (menit).
n	= angka kekasaran Manning
S	= kemiringan lahan.
L	= panjang lintasan aliran di atas permukaan lahan (m).
L_s	= panjang lintasan lahan di dalam saluran/sungai (m).
V	= kecepatan aliran di dalam saluran (m/detik).

(3) Waktu konsentrasi akan dapat diinterprestasikan dalam kejadian aliran drainase melalui pipa, saluran dan pada lahan. Berikut adalah klasifikasi parameter yang mempengaruhi waktu konsentrasi yang dijelaskan pada tabel.1 (Richard, 1984):

Tabel 1 Klasifikasi Parameter yang Mempengaruhi Waktu Konsentrasi

Jenis Aliran	Pengaruh Waktu Konsentrasi			
	Aliran tertahan	Ukuran lahan	kemiringan	Input air
Aliran di lahan	n, C, CN, I	L, A	S	i
Aliran di saluran	N, ϕ	Lc, L ₁₀₋₈₅	Sc, S ₁₀₋₈₅	R, i, Q
Aliran di pipa	n	L	S	R, q

Sumber : Richard (1984, p.890)

n = kekasaran Manning's

C = koefisien limpasan dari persamaan rasional

CN = SCS Curve Number

i = prosentase kehilangan, tipe penutup lahan

L = panjang saluran atau lahan

Selanjutnya (4) Akan (1986) menyatakan bahwa waktu konsentrasi dapat dilakukan dengan metode model fisik dasar melalui plot suatu lahan menggunakan pengaruh infiltrasi. Diasumsikan bahwa infiltrasi merupakan satu-satunya kehilangan air hujan yang jatuh ke tanah. Menentukan waktu konsentrasi dibagi dalam dua katagori, yaitu metode pengukuran langsung dan metode pengukuran terpisah. Pengukuran langsung diartikan sebagai pengukuran dengan menggabungkan proses aliran di lahan dengan di saluran dalam satu persamaan, sedangkan metode terpisah, adalah persamaan dibuat pada masing-masing proses aliran, yaitu waktu konsentrasi yang terjadi pada lahan dan waktu konsentrasi pada saluran (Wong, 2009).

Waktu konsentrasi yang merupakan hasil beberapa penelitian, diantaranya adalah persamaan Kirpich (1940) sebagai berikut:

$$T_c = 0,0195 \times \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,77}$$

T_c = waktu konsentrasi

L = panjang saluran

S = kemiringan saluran

Persamaan Kirpich Modifikasi (Safarina, 2008), persamaan waktu konsentrasi Kirpich dapat digunakan di DAS pada lokasi penelitian ini, tetapi memerlukan kalibrasi koefisiennya.

Waktu konsentrasi dapat diinterpretasikan dalam pipa, saluran, dan pada lahan aliran drainase. Pada lahan, persamaan waktu konsentrasi adalah: (Richard, 1984)

$$T_c = 0,04690 \cdot L_f^{0,4450} \cdot i_2^{-0,7231} \cdot \Phi^{0,5517} \cdot S_{fm}^{-0,2260}$$

Dengan:

L_f = panjang total aliran

i₂ = intensitas hujan 2 tahunan

S_{fm} = kemiringan saluran

Φ = variabel aliran tertahan

Akan (1986) menghasilkan persamaan waktu konsentrasi dengan menggabungkan aliran kinematik dan infiltrasi menggunakan metode Green Ampt infiltrasi. Gabungan rumus ini digunakan untuk menentukan waktu konsentrasi pada suatu lahan.

$$T_c = \frac{P_f \cdot \Phi \cdot (1 - S_i)}{i \cdot \left(\frac{1}{K} - 1\right)}$$

Dengan:

T_c : waktu konsentrasi (menit)

Φ : porositas tanah

P_f : kondisi karakteristik atas permukaan

S_i : derajat kejenuhan air

i : curah hujan rata-rata konstan (mm/menit)

K : konduktifitas hidrolik kejenuhan (meter/det)

Wong (2005) melaksanakan penelitian dengan membandingkan rumus waktu konsentrasi, dinyatakan bahwa sebagian besar dari sembilan rumus yang diamati tidak memasukkan faktor intensitas hujan. Wong menyatakan bahwa waktu konsentrasi adalah merupakan parameter penting dalam perencanaan desain drainase. Wong mengamati waktu konsentrasi pada suatu aliran lahan drainase dengan perlakuan penutup lahan beton dan rerumputan. Wong juga memadukan persamaan waktu konsentrasi dengan pengaruh kualitas air yang mengalir yaitu memasukkan angka Reynold dalam persamaannya. Persamaan dari penelitian Wong, (2005) adalah berdasarkan pada penelitian Chen and Wong (1993) dalam Wong, (2005) sebagai berikut:

$$T_c = \left[\frac{0,21 \cdot (3,6 \times 10^6 \cdot 9)^k \cdot C \cdot L^{2-k}}{S_i^{1+k}} \right]^{1/3}$$

Ming-Han Li and Paramjit Chibber (2008) menyatakan bahwa teori gelombang kinematik digunakan dalam penentuan waktu konsentrasi. Waktu konsentrasi di lahan menggunakan persamaan gelombang kinematik, yaitu fenomena keseimbangan air. Metode penelitian yaitu dengan menggunakan suatu plot lahan kemudian membandingkan dengan metode *rainfall simulator test* dan *impulse runoff test*. Penelitian ini membandingkan antara kedua metode dengan persamaan dasar waktu konsentrasi :

$$T_c = k \cdot L^a n^b S_i^c i^z$$

Yang selanjutnya waktu konsentrasi dari hasil model regresi diperoleh persamaan:

$$T_c = 0,553 L^{0,5} n^{0,32} \Phi^{0,277} S_i^{-0,172} i^{-0,646}$$

t_c = waktu konsentrasi

L = panjang areal lahan

K = konstanta

n = kekasaran permukaan lahan

i = intensitas hujan

Φ = kadar air tanah

a, b, y, z = eksponent

Banyak penelitian mengenai waktu konsentrasi dan hubungannya dengan waktu puncak. Seperti Kirpich (1940), California (1942), Izzard (1946), Morgali dan Linsley (1965), dan SCS (1972). Setiap penelitian mempunyai keterbatasan terutama dalam hal kondisi geografis yang berbeda. Kirpich membatasi bahwa formula waktu konsentrasinya hanya baik jika digunakan untuk kemiringan 3% sampai dengan 10%. Kemudian California, merupakan pengembangan persamaan Kirpich untuk DAS kecil di pegunungan di California. Di Indonesia umumnya persamaan persamaan waktu konsentrasi tersebut langsung digunakan tanpa diverifikasi (Safarina, 2008).

Kesalahan dalam menentukan waktu konsentrasi ini dapat mengakibatkan penyimpangan dalam menentukan waktu puncak dan juga debit puncak yang umumnya dianalisa terhitung sejak terjadinya hujan. Penyimpangan ini di lapangan dapat mengakibatkan *over design* atau *under design* dalam perencanaan bangunan air atau perencanaan drainase.

2.3 Teori Gelombang Kinematik

Teori gelombang kinematik (Bedient, 2008) menyatakan bahwa waktu konsentrasi pada aliran di lahan (*overland flow*) adalah dengan menggunakan pendekatan gelombang kinematik. Persamaan gelombang kinematik untuk waktu konsentrasi adalah :

$$T_c = 3,258 (L_c/S)^{0,5}$$

L_c adalah panjang aliran terjauh, dan S_c adalah kemiringan lahan

Persamaan gelombang kinematik mempunyai peranan dalam menentukan waktu konsentrasi dari kecepatan saluran yang dihasilkan. Kecepatan di saluran akan berbeda-beda tergantung perlakuan dari saluran drainase itu. Bentuk penampang saluran yang berbeda akan mempengaruhi kecepatan saluran. Penampang melintang akan mempengaruhi kecepatan saluran dengan faktor pengaruh dimensi salurannya. Penampang melintang dengan pengaruh faktor kemiringan saluran, panjang saluran, kekasaran, dan pola bentuk saluran berubah juga terhadap waktu konsentrasi dengan perkiraan bahwa berdasarkan persamaan kontinuitas yang selama ini digunakan dalam menghasilkan debit maksimum, kecepatan maksimum dan waktu konsentrasi.

Penentuan waktu konsentrasi menggunakan dasar dari teori persamaan gelombang kinematik. Cara gelombang kinematik pada awalnya ditetapkan untuk daerah sederhana yaitu dengan kontur relatif rendah, bentuk persegi panjang dan aliran melimpas di atas permukaan tanah. Proses perhitungan limpasan permukaan dengan gelombang kinematik didasarkan pada persamaan kontinuitas dan persamaan momentum (Wong, 2009).

Anggapan pada persamaan gelombang kinematik bahwa kelembaman dan efek tekanan udara tidaklah penting dan diperkirakan seimbang dengan adanya gaya gesekan pada dasar saluran. Gelombang kinematik menggambarkan karakteristik perubahan debit, kecepatan dan elevasi muka air dengan waktu pada setiap tempat dalam sebuah aliran seragam (*uniform flow*) dan aliran tidak tetap (*unsteady flow*).

Metode kinematik memberikan suatu pendekatan secara matematik pada fenomena limpasan permukaan pada suatu daerah akibat hujan. Metode ini menggunakan persamaan dasar hidrolika yang dapat digambarkan secara sederhana dari mekanisme hujan menjadi limpasan permukaan dalam bentuk persamaan.

Konsep keseimbangan massa aliran dengan anggapan input sama dengan output ditambah dengan tampungan, diaplikasikan pada daerah sederhana. Permukaan lahan dianggap sebagai suatu saluran yang mempunyai lebar selebar lahan tersebut. Tinggi limpasan yang terjadi sama dengan tinggi air disaluran tersebut. Besarnya gesekan dan tahanan pada dinding dan dasar saluran dianalogikan dengan tata guna lahan yang ada di daerah itu.

Ada dua persamaan yang dibutuhkan untuk memprediksi fenomena aliran limpasan, Bedient (2008, p. 269) adalah sebagai berikut:

- a. Persamaan Kontinuitas

$$\text{Inflow} = \left(Q - \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right) dt + q \cdot \Delta x \cdot \Delta t$$

$$\text{Outflow} = \left(Q - \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right) dt$$

$$\text{Perubahan tampungan} = \frac{\partial A}{\partial t} \cdot \Delta x \cdot \Delta t$$

Dengan q adalah debit aliran persatuan lebar ($m^3/dt/m'$), dan A adalah luas penampang melintang (m^2).

Persamaan kontinuitas menjadi, setelah memisahkan Δx dan Δt ,

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

Untuk A persatuan lebar maka kecepatan rata-rata dari persamaan kontinuitas menjadi :

$$y \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = \frac{q}{b}$$

Persamaan Momentum

Pada anggapan aliran *steady uniform* dan tekanan udara bebas dapat diabaikan maka kemiringan dasar saluran sejajar dengan kemiringan garis energi. Persamaan momentum diambil dari Hukum Newton ke-2 yaitu:

$$F = \frac{d}{dt}(mv),$$

$$\frac{d(mv)}{dt} = m \frac{dv}{dt} + v \frac{dm}{dt} = \rho A \Delta x \frac{dv}{dt} + \rho v q \Delta x,$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x}$$

Persamaan menjadi:

$$S_o - S_f = 0$$

Pada keadaan aliran uniform, persamaan manning dapat digunakan:

$$Q = \frac{S_o^{1/2}}{n} \cdot A^m \rightarrow Q = \alpha \cdot A^m$$

Dengan Q adalah debit (m^3/det), S_o adalah kemiringan dasar saluran, n adalah koefisien kekasaran Manning, A adalah luas penampang melintang aliran (m^2), α dan m adalah parameter gelombang kinematik.

2.3.1 Penelusuran Kinematik Aliran pada Lahan

Pada kondisi aliran kinematik tanpa pengaruh *backwater*, debit dapat digambarkan sebagai fungsi kedalaman, pada semua x dan t , seperti pada persamaan berikut, Bedient (2008, p.266)

$$q = \alpha \cdot y^m$$

Dengan q adalah debit dalam (m^2/det), α , m adalah parameter-parameter routing gelombang kinematik. Persamaan gelombang kinematik untuk segmen pada suatu aliran permukaan di atas lahan dengan aliran dangkal dapat diperoleh dari persamaan di bawah ini:

$$Q = \frac{S_o^{1/2}}{n} \cdot y_o^{5/3}$$

Persamaan di atas dapat ditulis kembali dalam bentuk aliran per unit lebar, diperoleh:

$$q = \alpha_o y_o^{m_o}$$

Persamaan kontinuitas untuk aliran pada permukaan lahan:

$$\frac{\partial q_o}{\partial x} + \frac{\partial y_o}{\partial t} = i - f$$

Dengan $i-f$ adalah hujan yang melimpas (mm/det), q_o adalah debit persatuan lebar ($m^2/\text{det}/m'$), y_o adalah kedalaman rata-rata aliran pada permukaan lahan (m). Dengan memasukkan persamaan di atas diperoleh:

$$\frac{\partial y_o}{\partial x} + \alpha_o m_o y_o^{m_o-1} \frac{\partial y_o}{\partial t} = i - f$$

Nilai y_o diperoleh dan dimasukkan ke dalam untuk mendapatkan nilai q_o , Persamaan gelombang kinematik untuk aliran di atas permukaan lahan. (Bedient, 2008, pp. 278 – 283)

2.3.2 Analisis untuk Lahan Tidak Tembus Air

Persamaan gelombang kinematik mempunyai keuntungan yaitu dapat digunakan untuk analisis pada kondisi *watershed* yang sederhana. (Bedient, 2008, hal. 281). Pada lahan yang impermeable, $y = A/b$, $q = Q/b$, dan $R = y$, dengan y adalah kedalaman aliran, A adalah luas, b adalah lebar dan q adalah debit aliran per satuan lebar. dapat ditulis kembali dengan

menghilangkan subscripts, dan mengganti $i_e = i - f$ = curah hujan efektif, maka persamaan kontinuitas per satuan lebar menjadi (Bedient, 2008, hal. 281)

$$\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial t} = i_e$$

Dengan i_e adalah besarnya hujan yang menjadi limpasan ($i-f$), f adalah besarnya kehilangan air, dan

$$q = \alpha \cdot y^m$$

:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \alpha \cdot m \cdot y^{m-1} \frac{\partial y}{\partial x} = i_e$$

Hubungan antara kedalaman aliran dan curah hujan yang menyebabkan limpasan adalah (Bedient, 2008, p.282) sebagai berikut:

$$\frac{dy}{dt} = i_e$$

Pada awal saat permukaan kering [y_0 ($t=0$) = 0], digabungkan dengan Persamaan untuk mendapatkan :

$$Y = y_0 + i_e t = i_e t$$

Substitusikan pada persamaan $c = \frac{dx}{dt} = \alpha m y^{m-1} = mv$

Diintegrasikan menjadi : $x = x_0 + \alpha \cdot i_e^{m-1} t^m$

Dan disederhanakan menjadi :

Dan $x = x_0 + \alpha \cdot y^{m-1} \cdot t$

Persamaan menggambarkan hubungan antara x terhadap y dan t , dimana x_0 adalah titik saat mulai ($t = 0$) yang diukur dari hulu hingga akhir aliran.

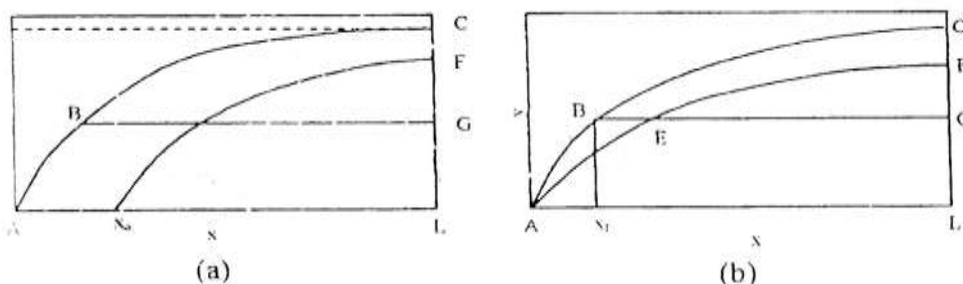
Debit pada setiap titik sepanjang jarak x diperoleh dari persamaan dengan memasukkan nilai y , diperoleh:

$$q = \alpha (i_e t)^m$$

Karakteristik kurva gelombang kinematik digambarkan pada Gambar 1 (a). Kurva ABC menunjukkan kedalaman profil dalam keadaan seimbang dan terjadi pada waktu $t > t_c$, dengan t_c adalah waktu konsentrasi pada sepanjang lahan. Debit outflow menjadi nilai yang maksimum pada saat $t = t_c$. Kedalaman profil, gambar 2.1 (b) akan tetap seimbang selama waktu $t = t_d > t_d$, dengan t_d adalah durasi hujan.

Bentuk lain kurva dapat terletak pada titik sebelah dalam pada lahan x_0 dan sepanjang jarak $L - x_0$ selama waktu t_0 . Persamaan (2-24) (2-25) dan (2-26) dapat digunakan untuk menghitung kedalaman air dan debit pada setiap titik (x, t)

sampai mencapai titik F. Berikut adalah Gambar 2.1 (a) dan (b).



Gambar. 1 Karakteristik Kurva *Kinematic Wave*

(a) Karakteristik untuk *Kinematic Wave*. (b) Profil Kedalaman Air

Waktu konsentrasi dengan asumsi $t = T_c$ untuk $x - x_0 = L$, dapat dihitung dengan persamaan (Bedient, 2008, p.283)

$$T_c = \left(\frac{L}{\alpha i_e^{m-1}} \right)^{1/m}$$

Dengan t_c adalah waktu konsentrasi (detik), L adalah panjang lahan (m), i_e adalah hujan yang menjadi limpasan (mm/jam), α dan m adalah parameter gelombang kinematik. Waktu konsentrasi di atas adalah waktu aliran sepanjang jarak L , bukan waktu dari air yang terkumpul (*parcel of water*), dengan persamaan Manning, T_c dalam menit adalah:

$$T_c = \left(\frac{6.9}{i_e^{0.4}} \right) \left(\frac{nL}{\sqrt{S_o}} \right)^{0.6} \quad (2-33)$$

Dengan satuan i_e dalam mm/hr dan L dalam meter.

Prinsip Keseimbangan Air

Fenomena limpasan permukaan ditunjukkan dengan teori keseimbangan air pada persamaan kontinuitas berikut ini: (Bedient, 2008)

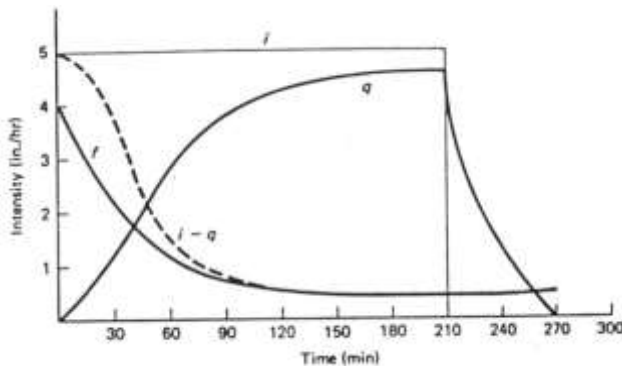
Curah Hujan nyata = genangan air + evaporasi + infiltrasi + limpasan permukaan

Genangan air di atas permukaan termasuk dalam jumlah limpasan permukaan, dan evaporasi dapat diabaikan, maka didapatkan curah hujan efektif yang nilainya sama dengan limpasan permukaan sebagai berikut:

Curah hujan efektif = curah hujan nyata – (infiltrasi + genangan permukaan)

Berdasarkan hal itu untuk curah hujan efektif, distribusi waktu menjadi penting untuk diketahui. Distribusi waktu curah hujan efektif yang terinterpretasi menjadi limpasan dan infiltrasi lebih mudah dilakukan dengan diketahui dan diamati melalui kecepatan aliran yang seragam pada curah hujan yang konstan.

Keseimbangan air pada hubungan hujan dan infiltrasi dapat ditunjukkan pada Gambar 2.2 berikut ini:



Gambar 2. 2 Keseimbangan Air pada Overland Flow

Sumber : Gupta (1989, p.87)

q = limpasan (inci/hr)

i = hujan (inci/hr)

f = infiltrasi (inci/hr)

t = waktu (menit)

Limpasan Permukaan

Limpasan diartikan sebagai aliran air dari hujan dari suatu daerah tangkapan menuju suatu saluran permukaan. Aliran limpasan yang mengalir mulai dari suatu lahan menuju keluarnya adalah terhadap waktu. Curah hujan efektif yang mengalir dari permukaan lahan

menuju suatu saluran maka limpasan ini dinamakan *overlandflow* (Subramanya, 2002). Sedangkan aliran yang bergerak di atas permukaan tanah sebagai *overlandflow* yang selanjutnya menuju ke beberapa saluran kecil dan bergabung dalam saluran yang lebih besar dengan aliran hidrolika saluran terbuka maka limpasan ini dinamakan *surface runoff*. Hal terpenting yang membedakan dari *overlandflow* dan *surface runoff* adalah waktu. Waktu yang terjadi adalah tergantung dari parameter yang ada di lahan dan saluran selama proses air mengalir.

Limpasan berdasarkan waktu tunggu antara hujan yang jatuh menjadi limpasan hingga outletnya diklasifikasikan menjadi dua katagori (Subramanya, 2002), yaitu:

1. Limpasan langsung (*direct runoff*), bagian dari limpasan yang ada setelah hujan mulai turun ke permukaan lahan. Limpasan ini termasuk limpasan permukaan, aliran antara, hujan yang mengalir melalui saluran.
2. Aliran dasar (*base flow*), aliran antara dalam tanah yang dapat menuju aliran bawah tanah. Beberapa aliran yang tertahan sebagai aliran antara juga termasuk dalam katagori ini.

Dasar fisik model aliran di lahan dan aliran di saluran adalah sama. Keduanya menggunakan satu dimensi aliran untuk menentukan model hujan dan limpasan pada skala area tertentu. Penyelesaian satu dimensi biasanya menggunakan variabel kecepatan aliran rata-rata, yaitu menggunakan persamaan dari Barre' de St Venant (1797 – 1886). Persamaan tersebut menggambarkan rata-rata kecepatan dan kedalam yang dikembangkan dari konsep keseimbangan aliran dan momentum dalam aliran.

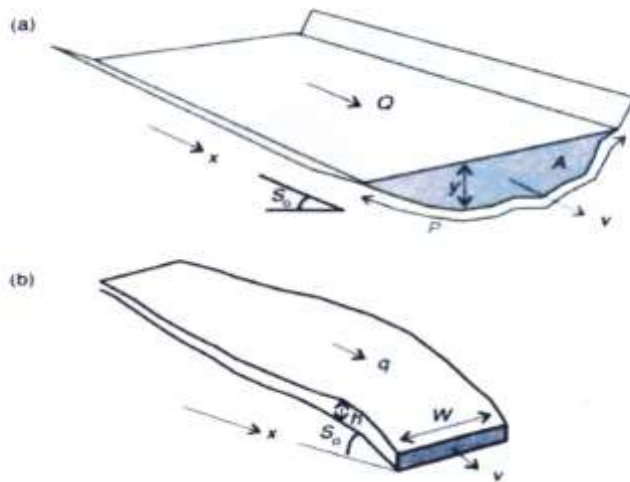
Rata-rata kecepatan, rata-rata kedalaman, luasan potongan melintang, dan parameter penampang basah (P), kemiringan dasar saluran (S), dan i debit persatuan panjang dari saluran, maka persamaan keseimbangan air dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial A}{\partial t} = -A \frac{\partial \vartheta}{\partial x} - \vartheta \frac{\partial A}{\partial x} + i \quad (2-34)$$

Dan persamaan keseimbangan momentum adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial A \vartheta}{\partial t} + \frac{\partial A \vartheta^2}{\partial x} + \frac{\partial A g h}{\partial x} = g A S - g P \frac{f}{2g} \vartheta^2 \quad (2-35)$$

Dimana f adalah koefisien kekasaran Darcy Weisbach. Skema pengaliran aliran di atas permukaan dapat dijelaskan pada Gambar 2.3 berikut ini:



Gambar.3 (a) satu dimensi dengan debit aliran saluran terbuka Q, potongan melintang luasan A, parameter penampang basah P, kecepatan rata-rata v, dan rata-rata kedalaman y. (b) satu dimensi yang menggambarkan aliran di lahan dengan spesifik debit q, lebar W, rata-rata kecepatan dan

rata-rata kedalaman h . Dua kasus di atas, kemiringan S dan jarak x yang diukur sepanjang kemiringan.

Perbedaan proses yang terjadi di aliran lahan dan di saluran adalah terletak pada q dan media alirannya. Pada aliran di lahan q adalah merupakan debit aliran persatuan lebar, sedangkan aliran saluran adalah Q dengan penampang basah. Kedalaman aliran yang terjadi pada aliran di lahan adalah kedalaman karena resapan air di dalam tanah, sedangkan kedalaman air di saluran adalah kedalaman air dari dasar saluran. Berdasarkan hal tersebut, maka parameter yang berpengaruh pada masing-masing aliran adalah berbeda. Dari proses limpasan ini, maka waktu konsentrasi akan terjadi pada masing-masing kasus dengan penyelesaian yang berbeda. Namun, keduanya masih pada konsep keseimbangan air.

Faktor kehilangan air yang mempengaruhi besarnya limpasan pada saluran akan berbeda dengan besarnya limpasan pada aliran di lahan. Pada saluran, faktor kehilangan debit air yang masuk dan dari jumlah hujan yang turun adalah diantaranya karena belokan saluran, bahan dasar saluran, kekasaran dasar saluran, dan dimensi saluran. Sedangkan faktor kehilangan debit air yang mengalir di atas permukaan lahan adalah karena resapan air di dalam tanah, maka untuk aliran air di lahan proses hujan dan limpasan diketahui melalui kurva hubungan hujan dan limpasan seperti yang dijelaskan pada Gambar 2.2 di atas.

Infiltrasi

Proses infiltrasi yang terjadi diamati dengan terjadinya proses limpasan dan jumlah hujan yang berpengaruh terhadapnya, yaitu dengan mengamati besarnya jumlah hujan yang terjadi sebagai air yang masuk dan limpasan dari daerah aliran ditampung dan diukur dan selisihnya sebagai air yang meresap adalah infiltrasi (Wilson, 1990)

Curah hujan yang jatuh di suatu daerah akan mengalir di permukaan tanah sebagai limpasan permukaan atau masuk ke dalam lapisan tanah. Menurut Sosrodarsono (1993), pengertian infiltrasi merupakan proses masuknya air hujan ke dalam lapisan permukaan tanah dan turun ke permukaan air tanah atau *ground water*. Menurut Seyhan (1990), mengartikan infiltrasi sebagai gerakan air dari permukaan tanah yang tidak kedap air masuk ke dalam tanah karena adanya gaya grafitasi dan gaya kapiler tanah.

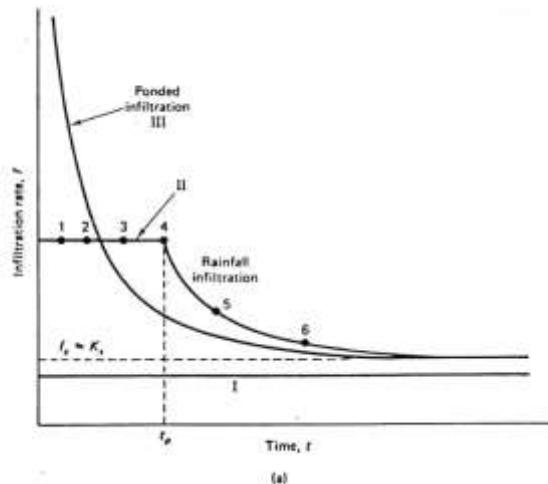
Daya serap setiap permukaan tanah mempunyai kemampuan yang berbeda-beda dilihat dari kondisi tanah dan lapisan penutup permukaannya. Kemampuan permukaan tanah untuk menyerap air hujan jatuh di atasnya disebut kapasitas infiltrasi (f) (Aprisal, 2014). Tiap jenis tanah dengan ciri-ciri fisik, kimia, biologi dan minerologi yang berbeda-beda memerlukan perhitungan kebutuhan air yang berbeda-beda dalam tujuan pemberian airnya. Laju infiltrasi bagi tiap jenis tanah yang ada di dalam suatu daerah aliran perlu dilakukan agar pengelolaannya secara terpadu dapat lebih tepat guna dan berhasil guna.

Infiltrasi mempunyai arti penting terhadap: (Syahru, 2011):

- a. Proses limpasan. Daya infiltrasi menentukan besarnya air hujan yang dapat diserap ke dalam tanah. Sekali air hujan tersebut masuk ke dalam tanah, air akan diupayakan kembali atau mengalir sebagai air tanah. Aliran air tanah sangat lambat. Makin besar daya infiltrasi, maka perbedaan antara intensitas curah hujan dengan daya infiltrasi menjadi makin kecil. Akibatnya limpasan permukaannya makin kecil sehingga debit puncaknya juga akan lebih kecil.
- b. Pengisian Lengan Tanah (Soil Moisture) dan Air Tanah
Pengisian lengan tanah dan air tanah adalah penting untuk tujuan pertanian. Pada permukaan

air tanah yang dangkal dalam lapisan tanah yang berbutir tidak begitu kasar, pengisian kembali lensa tanah ini dapat pula diperoleh dari kenaikan kapiler air tanah.

Limpasan permukaan terjadi ketika kapasitas infiltrasi tanah tidak dapat menyeimbangkan intensitas curah hujan di permukaan tanah. Pada umumnya limpasan permukaan tidak terjadi segera setelah hujan jatuh di permukaan tanah, tetapi perlu waktu untuk memenuhi kapasitas infiltrasi. Kapasitas infiltrasi adalah kemampuan tanah dalam merembeskan (menginfiltrasikan) air yang terdapat di permukaan atau aliran air permukaan sebagian dalam tanah tersebut, yang dengan sendirinya dengan adanya perembesan itu aliran air permukaan akan sangat berpengaruh (Beven, 2001).



Gambar 4 Perilaku Infiltrasi pada Beberapa Kondisi Hujan

Sumber : Gupta (1989, p. 86)

Kapasitas infiltrasi terjadi ketika intensitas hujan melebihi kemampuan tanah dan intensitas hujan lebih kecil dari konduktivitas hidrolik kejenuhannya, sehingga semua hujan terinfiltrasi (I). Sebaliknya, apabila intensitas hujan lebih kecil dari pada kapasitas infiltrasi dan intensitas hujan lebih besar dari konduktivitas hidrolik kejenuhannya, maka laju infiltrasi sama dengan laju curah hujan (II). Waktu dari permulaan sampai mulai terjadi limpasan permukaan disebut *ponding time* (III).

Jelasnya semakin besar kapasitas infiltrasi maka aliran air di permukaan tanah makin berkurang. Sebaliknya, makin kecil kapasitas infiltrasi yang disebabkan banyaknya pori tanah yang tersumbat, maka aliran air permukaan bertambah atau meningkat

Faktor yang berpengaruh terhadap proses keseimbangan air antara hujan, limpasan dan infiltrasi adalah karakteristik tanah, perlakuan lahan, dan hujan. Tanah mempunyai kondisi berbeda-beda tergantung dari pembentukannya di masa lampau dan perlakuannya di periode waktu berjalan. Proses siklus hidrologi dipengaruhi juga oleh kondisi tanah, yaitu jatuhnya air hujan di atas permukaan tanah. Tanah telah banyak mengalami perubahan akibat perlakuan kegiatan kebutuhan manusia. Proses pengaruh sifat fisik tanah terhadap karakteristik hidrologi adalah adanya pengaliran dan peresapan air ke dalam tanah yang mempengaruhi keseimbangan air dalam tanah dan di permukaan bumi.

Jenis tanah yang berbeda-beda menyebabkan air meresap dengan laju yang berbeda-beda. Setiap jenis tanah dengan sifat fisik pembentuknya memiliki daya resap yang berbeda, yang diukur dalam mm/jam. Jenis tanah berpasir umumnya cenderung mempunyai laju infiltrasi tinggi, akan tetapi tanah liat sebaliknya, cenderung mempunyai laju infiltrasi rendah. Untuk satu

jenis tanah yang sama dengan kepadatan yang berbeda mempunyai laju infiltrasi yang berbeda pula. **Invalid source specified.**

Berdasarkan model konseptual hidrologi bahwa hujan yang turun akan terinterpretasikan menjadi debit limpasan dan infiltrasi, maka infiltrasi akan mempengaruhi jumlah hujan yang melimpas ke permukaan lahan perkotaan sehingga infiltrasi pun mempengaruhi waktu konsentrasi yang dihitung dalam perencanaan desain drainase perkotaan.

Konsep model ini pun menghadirkan model infiltrasi yang terjadi pada beberapa kondisi lahan perkotaan. Kaitannya adalah kepadatan tanah lahan drainase perkotaan. Hipotesisnya adalah adanya pengaruh kepadatan tanah terhadap kapasitas infiltrasi pada beberapa jenis tanah, semakin padat tanah maka akan memperkecil resapan (infiltrasi) yang diinterpretasikan dalam bentuk kapasitas infiltrasi dengan dimensi (LT^{-1}), sehingga semakin berkurang nilai infiltrasi maka dengan analisis matematik, waktu konsentrasi akan semakin bertambah.

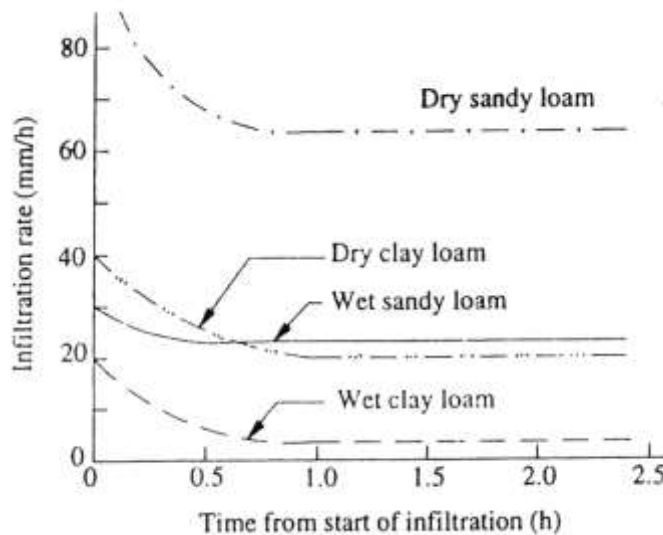
Laju infiltrasi dipengaruhi oleh kemiringan lahan. Semakin curam kemiringan lahan, maka laju infiltrasi akan semakin kecil (Fox, 1997). Bila laju infiltrasi semakin kecil maka waktu konsentrasi yaitu waktu saat kondisi tanah telah mencapai kondisi maksimum dan konstan adalah semakin lama.

Gambar 2.4 menunjukkan bahwa laju infiltrasi pada awalnya melebihi laju air hujan, kemudian sejalan dengan terisinya pori-pori tanah oleh air hujan maka laju infiltrasi menjadi berkurang. Pada saatnya, yaitu pada waktu tertentu akan tercapai keadaan yang tetap dan pada tanah inilah laju infiltrasi ditentukan. Selama periode awal infiltrasi ini, laju infiltrasi sama dengan laju hujan dan lebih kecil daripada kapasitas infiltrasi. Pada saat kapasitas infiltrasi menurun dibawah laju hujan, air larian mulai tampak. Aliran permukaan baru terjadi setelah beberapa saat hujan berlangsung, yaitu ketika laju hujan menjadi lebih tinggi dari laju infiltrasi (Arsyad, 1989). Selama hujan berlangsung laju aliran permukaan meningkat dengan semakin berkurangnya laju infiltrasi. Laju aliran permukaan pada akhirnya akan mencapai nilai maksimum yang konstan.

Januardin (2008) mengemukakan bahwa semakin tinggi kepadatan tanah, maka infiltrasi akan semakin kecil. Kepadatan tanah ini dapat disebabkan oleh adanya pengaruh benturan-benturan hujan pada permukaan tanah. Tanah yang ditutupi oleh tanaman biasanya mempunyai laju infiltrasi lebih besar daripada permukaan tanah yang terbuka. Hal ini disebabkan oleh perakaran tanaman yang menyebabkan porositas tanah lebih tinggi, sehingga air lebih banyak dan meningkat pada permukaan yang tertutupi oleh vegetasi, dapat menyerap energi tumbuk hujan dan sehingga mampu mempertahankan laju infiltrasi yang tinggi.

Jumlah dan ukuran pori yang menentukan adalah jumlah pori-pori yang berukuran besar. Makin banyak pori-pori besar maka kapasitas infiltrasi makin besar pula. Atas dasar ukuran pori tersebut, liat kaya akan pori halus dan miskin akan pori besar. Sebaliknya fraksi pasir banyak mengandung pori besar dan sedikit pori halus. Dengan demikian kapasitas infiltrasi pada tanah-tanah pasir jauh lebih besar daripada tanah liat (Lipiec, 2006).

Tanah-tanah yang bertekstur kasar menciptakan struktur tanah yang ringan. Sebaliknya tanah-tanah yang terbentuk atau tersusun dari tekstur tanah yang halus menyebabkan terbentuknya tanah-tanah yang bertekstur berat. Tanah dengan struktur tanah yang berat mempunyai jumlah pori halus yang banyak dan miskin akan pori besar. Sebaliknya tanah yang ringan mengandung banyak pori besar dan sedikit pori halus. Dengan demikian kapasitas infiltrasi dari kedua jenis tanah tersebut akan berbeda pula, yaitu tanah yang berstruktur ringan kapasitas infiltrasinya akan lebih besar dibandingkan dengan tanah-tanah yang berstruktur berat (Saifuddin, 1996).



Gambar 2. 5 Variasi Kapasitas Infiltrasi

Sumber : Subramanya (2002, p. 88)

Laju infiltrasi pada setiap karakteristik tanah berbeda-beda. Tanah dengan komposisi lempung berlanau mempunyai perilaku infiltrasi awal (f_0) lebih tinggi dibandingkan dengan pasir berlanau. Namun untuk waktu konstan pasir berlanau mempunyai kapasitas infiltrasi lebih tinggi dibandingkan dengan lempung berlanau. Karakteristik tanah yang sama kondisi awal yaitu kadar air awal yang berbeda akan menghasilkan kapasitas infiltrasi yang berbeda. Tanah pasir berlanau mempunyai pori-pori tanah yang lebih besar dibandingkan dengan lempung berlanau, sehingga kapasitas pasir berlanau lebih besar.

Laju infiltrasi dinyatakan pula oleh Susanto (2008), yang memberikan batasan laju infiltrasi pada beberapa jenis tanah. Kondisi tanah awal, seperti kadar air adalah dibuat sama dan kepadatan tanah serta kemiringan dibuat sama, sehingga pada Tabel 2.2 laju infiltrasi dapat ditentukan.

Laju infiltrasi berbeda menurut jenis tanahnya seperti pada tabel 2.2 berikut:

Tabel 2. 2 Laju Infiltrasi Menurut Jenis Tanah

Jenis Tanah	Laju Infiltrasi (mm/menit)
Tanah ringan (sandy soil)	0,212 – 0,423
Tanah sedang (loam clay, loam silt)	0,042 – 0,212
Tanah berat (clay, clay loam)	0,004 – 0,042

Sumber: Susanto (2008, p.17)

Proses masuknya air ke dalam tanah disebabkan oleh tarikan gaya gravitasi dan kapiler tanah. Laju air infiltrasi yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi dibatasi oleh besarnya diameter pori-pori tanah. Di bawah pengaruh gaya gravitasi, air hujan mengalir tegak lurus ke dalam tanah melalui profil tanah. Pada sisi lain, gaya kapiler bersifat mengalirkan air tersebut tegak lurus ke atas, ke bawah, dan ke arah horizontal.

Gaya kapiler tanah ini bekerja nyata pada tanah dengan pori-pori yang relatif kecil. Pada tanah dengan pori-pori besar, gaya ini dapat diabaikan pengaruhnya dan air mengalir ke tanah yang lebih dalam oleh pengaruh gaya gravitasi. Dalam perjalanannya tersebut, air juga mengalami penyebaran ke arah lateral akibat tarikan gaya kapiler tanah, terutama ke arah tanah dengan pori-pori yang lebih sempit.

Proses infiltrasi melibatkan tiga proses yang saling tidak tergantung (Asdak, 2002):

1. Proses masuknya air hujan melalui pori-pori permukaan tanah
2. Tertampungnya air hujan tersebut di dalam tanah
3. Proses mengalirnya air tersebut ke tempat lain (bawah, samping, dan atas)

Meskipun tidak saling berhubungan, ketiga proses tersebut di atas saling terkait. Besarnya laju infiltrasi pada tanah tidak bervegetasi tidak akan pernah melebihi laju intensitas hujan (Asdak, 2002).

Pengukuran laju infiltrasi dapat dilakukan pada permukaan tanah, pada kedalaman tertentu, pada lahan kosong atau lahan bervegetasi. Walaupun satuan infiltrasi serupa dengan konduktivitas hidraulik, terdapat perbedaan. Hal itu tidak bisa secara langsung dikaitkan kecuali jika kondisi batas hidraulik diketahui, seperti kemiringan hidraulik dan aliran air lateral atau jika dapat diperkirakan. Laju infiltrasi memiliki kegunaan seperti pembuangan limbah cair, evaluasi potensi lahan tanki septik, efisiensi pencucian dan drainase, kebutuhan air irigasi, penyebaran air dan imbuhan air tanah, dan kebocoran saluran atau bendungan dan kegunaan lainnya.

LAMPIRAN 1 SURAT PERNYATAAN PLAGIAT



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TERBUKA
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT

Gedung Layanan Bersama Lt. 6 – 8, Jl. Veteran Malang 65145, Indonesia

Telp. + 62-341-575824, 575825, 584394; Fax. + 62-341-575825, 575828

E-mail : lppm@ub.ac.id

<http://lppm.ub.ac.id>

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dr. Donny Harisuseno, ST., MT

NIP/NIDN : 197502271999031001/0027027503

Fakultas : Teknik

Pangkat / Golongan : IV a/ Pembina

Jabatan Fungsional : Lektor Kepala

dengan ini menyatakan bahwa penelitian saya dengan judul : **Penentuan Waktu Banjir (Tc) dari Proses Hujan, Limpasan dan Infiltrasi di Lahan untuk Mendukung Desain Ekodrainase Perkotaan**

benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku serta saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku dan mengembalikan seluruh biaya penelitian yang sudah diterima ke kas Negara.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Mengetahui,
Ketua LPPM UB,


(Dr. Ir. Bambang Susilo, M.Sc. Agr.)
NIP. 196207191987011001

Malang, 13 Agustus 2018.

Yang menyatakan,


(Dr. Donny Harisuseno, ST., MT)
NIP. 197502271999031001

