

DISERTASI

**PERANAN AKAR POHON SEBAGAI MEDIA PENINGKATAN
KAPASITAS INFILTRASI**

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Doktor

Program Studi Teknik Sipil

**ABD. RAKHIM
P0800311441**



Kepada

**SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2017**

DISERTASI

PERANAN AKAR POHON SEBAGAI MEDIA PENINGKATAN
KAPASITAS INFILTRASI

Disusun dan diajukan oleh

ABD. RAKHIM

Nomor Pokok P0800311441

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Disertasi

Pada tanggal 27 Nopember 2017

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui
Komisi Penasehat

Prof. Dr. Ir. H. Ahmad Munir, M.Eng
Promotor

Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT
Kopromotor

Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, MT
Kopromotor

Ketua Program Studi
S3 Teknik Sipil

Prof. Dr. H. M. Wihardi Tiaronge, ST.M.Eng

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin

Dr.-Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga seluruh rangkaian penulisan disertasi ini dapat terselesaikan. Disertasi ini berjudul “Peranan Akar Pohon Sebagai Media Peningkatan Kapasitas Infiltrasi”. Dalam penyusunan disertasi ini dijumpai banyak hal yang menjadi ujian baik hal-hal yang terkait dengan kerangka pikir akademik maupun yang terkait dengan konsistensi keuletan, ketabahan dan kesabaran, namun atas berkat rahmat Allah SWT serta petunjuk, bimbingan, arahan dan bantuan dari berbagai pihak, maka penulis dapat merampungkan Disertasi ini. Untuk itu penulis memberikan apresiasi yang luar biasa dan menyampaikan terimakasih yang tulus kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Ahmad Munir, M.Eng., selaku promotor, Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT., dan Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, MT., selaku Ko-Promotor yang telah memberikan bimbingan dan arahan mulai dari persiapan penelitian, terwujudnya naskah Disertasi ini hingga bimbingan dalam persiapan tahapan-tahapan ujian.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Muh. Saleh Pallu, M.Eng., Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng., Prof. Ir. Sakti Adji Adisasmita, MS. M.Eng.Sc., Ph.D.- dan Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa, MT., selaku tim penilai yang memberikan banyak masukan, tanggapan dan saran sehingga penulisan dan perbaikan Disertasi ini dapat diwujudkan.

3. Bapak Prof. Dr. Ir. Suripin, M.Eng., Guru Besar Universitas Diponegoro Semarang selaku penguji eksternal atas kesediaannya mengisi waktunya memberikan masukan untuk perbaikan naskah Disertasi ini.
4. Ibu Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, MA., selaku Rektor Universitas Hasanuddin Makassar, Prof. Dr. Muhammad Ali, SE, MS., Dekan Sekolah Pascasarjana, Dr. Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME., selaku Dekan Fakultas Teknik, Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, serta Prof. Dr. H.M. Wihardi Tjaronge, ST. M.Eng., selaku Ketua Program Studi S3 Teknik Sipil yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk melanjutkan pendidikan Doktor pada bidang Teknik Sipil. Terima kasih atas segala pelayanan akademik yang prima yang telah diberikan selama penulis menempuh pendidikan di S3 Teknik Sipil UNHAS.
5. Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi (Dirjen DIKTI) melalui proyek BPPS yang mendukung pembiayaan penulis dalam menempuh pendidikan.
6. Bapak dan ibu dosen pengajar pada Program Studi S3 Teknik Sipil Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin atas segala bimbingan akademik selama penulis menempuh pendidikan.
7. Rekan-rekan seperjuangan, mahasiswa Pascasarjana UNHAS angkatan 2011 Program S3 Teknik Sipil atas kerja samanya selama menempuh studi hingga pada tahap penyelesaian Disertasi ini.

8. Segenap Pimpinan Wilayah Muhammadiyah Sulawesi Selatan periode 2015-2020 atas segala dukungannya terutama telah merelakan kami jeda dari tugas selaku Wakil Sekretaris selama masa-masa perampungan Disertasi ini.
9. Bapak Dr. Ir. H.M. Syaiful Saleh, M.Si., Ketua BPH Unismuh Makassar dan Bapak Prof. Dr. H. Irwan Akib, M.Pd., Rektor Unismuh Makassar pada masanya atas segala bimbingan dan arahnya, lebih khusus atas penyediaan fasilitas Laboratorium Basic Hydrology System dimana penulis melaksanakan penelitian Disertasi ini.
10. Bapak Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE, MM., selaku Rektor Unismuh Makassar beserta para Wakil Rektor serta jajarannya atas segala dukungan moril dan materil, kesempatan serta dapat memaklumi penulis dalam melakukan aktifitas ganda, terutama pada masa-masa perampungan Disertasi.
11. Para Pimpinan Fakultas, para Ketua dan Sekretaris Prodi, teman-teman Dosen dan Karyawan Universitas Muhammadiyah Makassar atas bantuan, dorongan moril dan doanya serta dapat memahami penulis dalam melaksanakan aktifitas ganda selaku mahasiswa dan tenaga pendidik.
12. Bapak Dr. Ir. H. Darwis Panguriseng, M.Sc., dan Muhammad Daud, S.Hut, M.Si. yang bersedia menjadi teman diskusi yang baik dalam mempersiapkan Disertasi ini.

13. Adik-adik Syafaat S. Kuba, ST dan M. Agusalim, ST yang banyak menjalankan tugas-tugas teknis penulis dalam pengendalian pembangunan kampus Unismuh Makassar, terutama pada masa-masa perampungan Disertasi.
14. Adik-adik Asriany, ST., beserta timnya; Abdul Rahman ST dan Ummu Aima Ali ST, Andi Aisyah Amini ST dan Nurwidayanti ST, Yusran Arsyam ST dan Triwahyuddin ST, Fahmi Syarif ST dan Taufan Akmal ST yang telah berjibaku bekerja secara maraton siang-malam selama masa pengambilan data di laboratorium.
15. Bapak K.H. Djamaluddin Amien (alm.) Rektor dan Ketua BPH Unismuh pada masanya, dimana semasa hidupnya lebih banyak bertindak sebagai orang tua dan guru bagi penulis disamping sebagai atasan. Ketulusan dan keikhlasan beliau dalam membimbing penulis dalam memahami falsafah kehidupan selalu menuntun hati penulis untuk berhati-hati meniti hidup dan bersungguh-sungguh dalam menunaikan amanah.
16. Kakak-kakak dan adik-adikku, para istri dan suaminya, Ali Nanda (alm.) dan Muna Tamma, Mansiara Nanda (alm.) dan Bakkarang, Muliati Nanda dan Muh. Arsyad Side (alm.), Nurhana Nanda dan Buntu Tanda (alm.), St. Hadijah Nanda dan Sulaiman, Hasirah Nanda dan Abadi (alm), Abd. Rahman Nanda (alm) dan Astuti, Murni Nanda dan Andi Amir, Sahabuddin Nanda dan Nurhaeni, Hartini Nanda dan Janodding, serta

Mustaming Nanda dan Mustiara. Terima kasih atas segala dukungan, doa dan pengertiannya sehingga kami dapat menyelesaikan studi ini.

17. Bapak mertua saya Imam Sunyoto Nawang (alm) dan Hj. Mariati Dg. Nurung beserta Kakak-kakak Ipar saya, Drs. Husain Nawang (alm) dan istri, Drs. Zainal Abidin Dg Rewa dan istri, Hj. Syamsinah Dg. Bollo dan suami, Drs. Samsu Alam Dg. Nambung dan istri beserta seluruh kemanakanku, terima kasih atas seluruh dukungan dan doanya.
18. Istri tercinta sekaligus guru saya Hj. Nurnawaty Nawang yang selalu sabar bersama saya, ini adalah kebersamaan akademik kami yang ketiga setelah bersama-sama menyelesaikan S1 Teknik Sipil di Unismuh Makassar, bersama-sama menyelesaikan S2 Teknik Sipil di Univ. Brawijaya dan Kali ini kami bersama-sama menyelesaikan S3 Teknik Sipil di almamater kami yang ketiga Universitas Hasanuddin yang patut kita syukuri bersama.
19. Terima kasih untuk para buah hati kami tersayang ananda Firas Fathin Abdurrahim (alm) yang telah menjadi titipan dan ganjaran di sisi Allah ketika kami menempuh S2, Ananda Dzar Fadli el Furqan (mahasiswa Kedokteran Unismuh Makassar), Dzar Fikri el Faiz (mahasiswa Teknik Fisika ITB), Dzar Fahiemah el Faiqah (SMU Muhammadiyah 1 Makassar) dan Dzar Fakhirah el Fatinah (SMPN 4 Sungguminasa). Kalian adalah permata hati dan penyejuk mata bagiku. Kalian beserta ibumu (ummi)

adalah anugrah yang paling indah yang Allah SWT berikan kepadaku yang patut aku syukuri.

20. Nun jauh di alam sana sepasang suami istri ayahanda Nanda dan Hani yang insya Allah sedang tersenyum bahagia yang senantiasa hadir dalam denyut nadiku. Wahai Allah..! Kedua orang ibu bapak hamba telah menunaikan amanah yang Engkau berikan kepada keduanya, dan kami anak-anaknya tidak akan mampu membalasnya. Karenanya terimalah doa kami kepadaMu untuk keduanya. Wahai Allah Tuhanku, ampunilah dosaku dan dosa kedua orang tuaku, kasihanilah mereka berdua sebagaimana mereka mengasihi kami semua, dan berikanlah mereka tempat yang indah di sisiMu di dalam surgamu. Amin ya Rabbal alamin.
21. Terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuannya dalam penyelesaian Disertasi ini yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu.

Semoga Allah SWT memberikan rahmat dan berkahNya kepada kita semuanya.

Makassar, November 2017

Abd. Rakhim

ABSTRAK

ABD RAKHIM, Peranan Akar Pohon Sebagai Media Peningkatan Kapasitas Infiltrasi (dibimbing oleh Ahmad Munir, Muhammad Arsyad Thaha, Farouk Maricar)

Proses masuknya air hujan ke dalam tanah dan turun ke permukaan air tanah hingga ke zona perakaran (*vadose zone*) disebut infiltrasi. Faktor yang berpengaruh seperti tanaman penutup, intensitas curah hujan, struktur tanah, topografi, dan kedalaman genangan. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji laju dan kapasitas infiltrasi pada tanah asli terhadap kepadatan tanah dengan variasi intensitas hujan dengan dan tanpa akar pohon sebagai media infiltrasi.

Penelitian ini dilakukan dengan uji model eksperimen di laboratorium dengan mengambil sampel dari Minasa Upa, Perumahan Tidung, dan Tamalate, kota Makassar dengan tiga macam variasi jenis tanah koefisien permeabilitas (k_p), tiga macam intensitas hujan (I) dan empat macam variasi kepadatan tanah (D) dan tiga formasi akar pohon (A_k). Penelitian ini menggunakan rainfall simulator sebagai alat simulasi hujan dan pengujian kapasitas infiltrasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan akar pohon sebagai media infiltrasi dapat meningkatkan kapasitas infiltrasi. Hal ini terlihat pada sampel tanah SS_1 pada $k_p = 0.00384$ mm/det dengan kepadatan $D = 63.95\%$ dengan intensitas hujan $I_5 = 246.841$ mm/jam terjadi penambahan nilai kapasitas infiltrasi (f_c) dari A_{k0} ke A_{k1} , A_{k3} dan A_{k6} masing-masing sebesar 219.44%, 407.41%, dan 596.30%. Demikian juga halnya pada sampel tanah SS_2 pada $k_p = 0.00110$ mm/det dengan kepadatan $D = 63.85\%$ dengan intensitas hujan $I_5 = 246.841$ mm/jam terjadi penambahan nilai kapasitas infiltrasi dari A_{k0} ke A_{k1} , A_{k3} dan A_{k6} masing-masing sebesar 103.20%, 116 %, dan 212 %. dan juga pada sampel tanah SS_3 pada $k_p = 0.00160$ mm/det dengan kepadatan $D = 64.35\%$ dengan intensitas hujan $I_5 = 246.841$ mm/jam terjadi penambahan nilai kapasitas infiltrasi dari A_{k0} ke A_{k1} , A_{k3} dan A_{k6} masing-masing sebesar 214.08 %, 345.07 %, dan 446.48 %. Fenomena tersebut juga terjadi pada intensitas hujan I_{10} dan I_{25} pada seluruh sampel tanah dengan berbagai variasi kepadatan. Setelah dilakukan analisis regresi non linier maka didapatkan suatu koefisien yang disebut *Coefficient for accumulative recharge number* disimbolkan C_{ARN} , yang selanjutnya disubstitusikan ke dalam persamaan Horton sehingga ditemukan rumus Horton Modifikasi untuk menghitung laju infiltrasi (f_c) dengan persamaan sebagai berikut:

$$f_t = f_c + (f_0 - f_c)e^{C_{ARN}t} \text{ dimana } C_{ARN} = c_1k_p + c_2I + c_3D - c_4A_k$$

Kata kunci : Kapasitas infiltrasi, akar pohon, rainfall simulator



ABSTRACT

ABD. RAKHIM, *The Role of Tree Root as Media for Increasing Infiltration Capacity* (supervised by **Ahmad Munir, Muhammad Arsyad Thaha** and **Farouk Maricar**)

The process of entering rainwater into the soil and descending to the groundwater surface to vadose zone is called infiltration. The several factors such as cover crops, rainfall intensity, soil structure, topography, inundation depth. The purpose of this study is to examine how the phenomenon of infiltration rate and capacity in the native soil to the density and compression of soil with variations in rain intensity with and without tree roots as infiltration media.

This research was conducted by experimental model test in the laboratory by observing the original soil condition from Minasa Upa, Tidung Housing, Tamalate Makassar with 3 variation of soil type with permeability coefficient (k), 3 variation of rain intensity (I) and 4 variations in soil density (D) and 3 tree root formation (Ak). This research uses rainfall simulator as rain simulation tool and infiltration capacity test. Implementation of soil density test conducted, then given repeated rain 4 times on each soil sample.

The results showed that the use of tree roots as infiltration media can increase infiltration capacity. This is seen in SS1 soil sample at $k_p = 0.00384$ mm/sec with density $D = 63.95\%$ with rain intensity $I_5 = 246.841$ mm/hr there is increment of infiltration capacity value (f_c) from Ak_0 to Ak_1 , Ak_3 and Ak_6 respectively of 219.44%, 407.41%, and 596.30%. Similarly, SS2 soil samples at $k_p = 0.00110$ mm/sec with density $D = 63.85\%$ with rain intensity $I_5 = 246.841$ mm/hr increased value of infiltration capacity from Ak_0 to Ak_1 , Ak_3 and Ak_6 respectively by 103.2%, 116 %, And 212%. And also on SS3 soil sample at $k = 0.00160$ mm/sec with density $D = 64.35\%$ with rain intensity $I_5 = 246.841$ mm/hr there was increment of infiltration capacity value from Ak_0 to Ak_1 , Ak_3 and Ak_6 respectively 214.08%, 345.07%, and 446.48%. The phenomenon also occurs in rain intensity I_{10} and I_{25} in all soil samples with various density variations. After the analysis of nonlinear method then found a coefficient namely "Coefficient for accumulative of recharge number with called C_{ARN} , which is substituted in to the Horton equation, so found the modification Horton formula named HORTON-ARN as follow:

$$f_t = f_c + (f_0 - f_c)e^{C_{ARN} \cdot t} \text{ in which } C_{ARN} = c_1 k_p + c_2 I + c_3 D - c_4 Ak$$

Key word: *infiltration capacity, tree root, rainfall simulator.*



DAFTAR ISI

	halaman
PRAKATA	i
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR NOTASI	xxviii
I. BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	6
C. Maksud Dan Tujuan Penelitian	7
D. Batasan Masalah	8
E. Manfaat Penelitian	8
F. Ruang Lingkup Penelitian	9
G. Hipotesis	10
H. Sistematika Penelitian	11

I.	Kebaruan Penelitian	12
II.	BAB II TINJAUAN PUSTAKA	13
A.	Infiltrasi	13
1.	Pengertian Laju dan Kapasitas Infiltrasi	13
2.	Faktor-faktor Pengaruh Infiltrasi	14
3.	Pengukuran Infiltrasi	19
4.	Formulasi Laju Infiltrasi	21
B.	Akar Pohon dan Proses Infiltrasi	27
1.	Hubungan sifat-sifat akar pohon dengan infiltrasi	27
2.	Hubungan sifat-sifat tanah dengan infiltrasi	29
3.	Hubungan karakteristik hujan dengan infiltrasi	33
4.	Mekanisme infiltrasi melalui media akar pohon	35
C.	Beberapa Alternative Untuk Meningkatkan Infiltrasi	38
1.	Pengelolaan Hujan Berwawasan Lingkungan	38
2.	Kolam Tampungan dan Waduk Resapan	40
D.	Pengembangan Model Fisik Penggunaan Akar Pohon Untuk Meningkatkan Laju dan Kapasitas Infiltrasi	45

E. Penelitian Terdahulu yang Terkait	46
III. BAB III METODOLOGI PENELITIAN	55
A. Bentuk Dan Jenis Penelitian	55
B. Rancangan Penelitian	56
1. Pengelompokan Pengujian	56
2. Persiapan Instrumen Penelitian dan Data Acuan Simulasi Hujan	58
3. Persiapan Material dan Format Pengamatan	64
4. Pengujian Tahap Pertama	74
5. Pengujian Tahap Kedua	77
C. Waktu dan Tempat Penelitian	82
D. Pencatatan Data	82
E. Analisis Data	84
IV. BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	86
A. Parameter Amatan	86
B. Perbandingan Laju dan Kapasitas Infiltrasi Pada Tiga Jenis Tanah Tanpa Menggunakan Akar Pohon	87
1. Intensitas curah hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam	87
2. Intensitas curah hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam	92

3. Intensitas curah hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam	98
4. Pembahasan dan diskusi	102
C. Laju dan Kapasitas Infiltrasi Pada Kondisi Tanah Tanpa dan Dengan Menggunakan Akar Pohon	103
1. Penyajian data dan analisis laju infiltrasi (f) dan kapasitas infiltrasi (fc) Pada tanpa akar dan dengan formasi akar (Ak_1, Ak_3, Ak_6) Pada Sampel Tanah satu (SS_1)	104
2. Penyajian data dan analisis laju infiltrasi (f) dan kapasitas infiltrasi (fc) dengan formasi akar (Ak_1, Ak_3, Ak_6) Pada Sampel Tanah Dua (SS_2)	121
3. Penyajian data dan analisis laju infiltrasi (f) dan kapasitas infiltrasi (fc) dengan formasi akar (Ak_1, Ak_3, Ak_6) Pada Sampel Tanah Tiga (SS_3)	138
4. Pembahasan dan diskusi	155
D. Hubungan Antar Parameter Pada Pengujian Tanpa Pengaruh Akar Pohon	156
1. Pengaruh Frekwensi Curah Hujan Terhadap Tingkat Kepadatan/ Kemampatan Pada Tiga Jenis Sampel Tanah (SS_1, SS_2 dan SS_3)	156
2. Pengaruh Kepadatan Tanah Terhadap Kapasitas Infiltrasi (fc) Pada Tiga Jenis Sampel Tanah (SS_1, SS_2 dan SS_3) Tanpa Menggunakan Akar Pohon	160
3. Pengaruh Kepadatan Tanah Terhadap Waktu Berakhirnya Infiltrasi (t_e) Pada Tjenis Sampel	

Tanah (SS ₁ , SS ₂ dan SS ₃) Tanpa Menggunakan Akar Pohon	165
E. Hubungan Antar Parameter Pada Pengujian Dengan Pengaruh Akar Pohon	169
1. Pengaruh formasi akar terhadap kapasitas infiltrasi (fc) dengan empat variasi kepadatan (D ₁ , D ₂ , D ₃ dan D ₄) pada sampel tanah satu (SS ₁) untuk intensitas I ₅ , I ₁₀ , dan I ₂₅	169
2. Pengaruh formasi akar terhadap kapasitas infiltrasi (fc) dengan empat variasi kepadatan (D ₁ , D ₂ , D ₃ dan D ₄) pada sampel tanah dua (SS ₂) untuk intensitas I ₅ , I ₁₀ , dan I ₂₅	174
3. Pengaruh formasi akar terhadap kapasitas infiltrasi (fc) dengan empat variasi kepadatan (D ₁ , D ₂ , D ₃ dan D ₄) pada sampel tanah tiga (SS ₃) untuk intensitas I ₅ , I ₁₀ , dan I ₂₅	178
4. Pengaruh formasi akar waktu akhir infiltrasi (te) dengan empat variasi kepadatan (D ₁ , D ₂ , D ₃ dan D ₄) pada sampel tanah satu (SS ₁) untuk intensitas I ₅ , I ₁₀ , dan I ₂₅	183
5. Pengaruh formasi akar waktu akhir infiltrasi (te) dengan empat variasi kepadatan (D ₁ , D ₂ , D ₃ dan D ₄) pada sampel tanah dua (SS ₂) untuk intensitas I ₅ , I ₁₀ , dan I ₂₅	188
6. Pengaruh formasi akar waktu akhir infiltrasi (te) dengan empat variasi kepadatan (D ₁ , D ₂ , D ₃ dan D ₄) pada sampel tanah tiga (SS ₃) untuk intensitas I ₅ , I ₁₀ , dan I ₂₅	192

7. Pembahasan dan diskusi	197
F. Kebaharuan Penelitian	199
1. Rumus Horton-ARN Sebagai Kebaruan Penelitian	199
2. Unjuk Kerja Persamaan Horton-ARN	201
3. Uji Validasi Model Horton-ARN	211
4. Pembahasan	212
V. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	215
A. Kesimpulan	215
B. Saran	216
DAFTAR PUSTAKA	218
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

nomor		halaman
1.	Perbandingan dengan penelitian terdahulu	49
2.	Formula perhitungan laju/kapasitas infiltrasi	52
3.	Pembacaan flowmeter pada beberapa kondisi hujan pada rainfall simulator	60
4.	Hasil uji permeabilitas sampel tanah	66
5.	Karakteristik sampel akar pohon	68
6.	Penentuan komposisi tanah setelah dilakukan analisa saringan (grane analysys)	69
7.	Parameter Infiltrasi Terhadap Pengaruh Tiga Jenis Tanah untuk Intensitas I_5	92
8.	Parameter infiltrasi terhadap pengaruh tiga jenis tanah untuk intensitas I_{10}	97
9.	Parameter infiltrasi terhadap pengaruh tiga jenis tanah untuk intensitas I_{25}	102
10.	Parameter Infiltrasi Terhadap Pengaruh Akar untuk Sampel Tanah satu (SS_1) Intensitas I_5	109

11.	Parameter Infiltrasi Terhadap Pengaruh Akar untuk Sampel Tanah satu (SS ₁) Intensitas I ₁₀	114
12.	Parameter Infiltrasi Terhadap Pengaruh Akar untuk Sampel Tanah satu (SS ₁) Intensitas I ₂₅	120
13.	Parameter Infiltrasi Terhadap Pengaruh Akar untuk Sampel Tanah dua (SS ₂) Intensitas I ₅	126
14.	Parameter Infiltrasi Terhadap Pengaruh Akar untuk Sampel Tanah dua (SS ₂) Intensitas I ₁₀	131
15.	Parameter Infiltrasi Terhadap Pengaruh Akar untuk Sampel Tanah dua (SS ₂) Intensitas I ₂₅	137
16.	Parameter Infiltrasi Terhadap Pengaruh Akar untuk Sampel Tanah tiga (SS ₃) Intensitas I ₅	143
17.	Parameter Infiltrasi Terhadap Pengaruh Akar untuk Sampel Tanah tiga (SS ₃) Intensitas I ₁₀	148
18.	Parameter Infiltrasi Terhadap Pengaruh Akar untuk Sampel Tanah tiga (SS ₃) Intensitas I ₂₅	154
19.	Parameter Kepadatan dan pemampatan (D ₁ , D ₂ , D ₃ dan D ₄) pada sampel tanah satu, tanah dua dan tanah tiga (SS ₁ , SS ₂ dan SS ₃) untuk intensitas hujan, (I ₅ ,	

	I_{10} , dan I_{25})	160
20.	Parameter Kapasitas Infiltrasi Konstan (f_c) Terhadap Pengaruh Kepadatan sampel tanah satu, tanah dua dan tanah tiga (SS_1 , SS_2 dan SS_3)	164
21.	Parameter Waktu Akhir Infiltrasi (t_e) Terhadap Pengaruh Kepadatan pada sampel tanah satu, tanah dua dan tanah tiga (SS_1 , SS_2 dan SS_3)	169
22.	Parameter Kapasitas Infiltrasi Konstan (f_c), Pengaruh Kerapatan Formasi Akar Pada sampel tanah satu (SS_1) untuk intensitas I_5 , I_{10} dan I_{25}	173
23.	Parameter Kapasitas Infiltrasi Konstan (f_c), Pengaruh Kerapatan Formasi Akar Pada sampel tanah dua (SS_2) untuk intensitas I_5 , I_{10} dan I_{25}	178
24.	Parameter Kapasitas Infiltrasi Konstan (f_c), Pengaruh Kerapatan Formasi Akar Pada sampel tanah tiga (SS_3) untuk intensitas I_5 , I_{10} dan I_{25}	183
25.	Parameter Waktu Akhir Infiltrasi (t_e), Pengaruh Kerapatan Formasi Akar Pada sampel tanah satu (SS_1) untuk intensitas I_5 , I_{10} dan I_{25}	187
26.	Parameter Waktu Akhir Infiltrasi (t_e), Pengaruh Kerapatan Formasi Akar Pada sampel tanah dua (SS_2) untuk	

intensitas I_5 , I_{10} dan I_{25}	192
27. Parameter Waktu Akhir Infiltrasi (t_e), Pengaruh Kerapatan Formasi Akar Pada sampel tanah tiga (SS_3) untuk intensitas I_5 , I_{10} dan I_{25}	196
28. Validasi Model Persamaan Horton dan Persamaan Horton-ARN	213

DAFTAR GAMBAR

nomor		halaman
1.	Kondisi banjir genangan di Makassar akibat hujan	2
2.	Genangan pada permukaan tanah	15
3.	Pengaruh kadar air dalam tanah terhadap infiltrasi	18
4.	Hasil percobaan rainfall simulator	20
5.	Kerangka Pikir	48
6.	Skema alat simulasi hujan (rainfall simulator) dan bak sampel	59
7.	Perspektif rainfall simulator dan lay out drain lubang manometer	59
8.	Pengambilan dan pengemasan sampel tanah	64
9.	Contoh grafik hubungan antara diameter saringan dan prosentase kelulusan tanah (Lokasi Tidung-9)	65
10.	Pemilihan dan penyiapan sampel akar pohon	67
11.	Enam akar akar pohon yang dijadikan variabel kerapatan formasi akar dalam pengamatan infiltrasi	68

12.	Alat pengering tanah (oven) kapasitas $0,5 \text{ m}^3$	70
13.	Pencampuran butiran tanah setelah diproporsikan sebelum dimasukkan ke dalam wadah (bak) sampel	71
14.	Perataan dan pemadatan sampel tanah	72
15.	Pengukuran kepadatan dengan menggunakan sand cone test	73
16.	Formasi kerapatan akar pohon	73
17.	Skema <i>running test</i> untuk tiga sampel tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) tanpa akar pohon dengan empat kepadatan	76
18.	Skema <i>running test</i> untuk tiga sampel tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) dengan tiga intensitas curah hujan, tiga formasi akar pohon dan empat variasi kepadatan tanah	80
19.	Flow chart pelaksanaan penelitian	81
20.	Prinsip pengamatan pada percobaan rainfall simulator	84
21.	Komponen grafik laju infiltrasi	86
22.	Perbandingan laju infiltrasi pada tiga jenis tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) dengan kepadatan D_1 untuk intensitas hujan I_5	88

23. Perbandingan laju infiltrasi pada tiga jenis tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) dengan kepadatan D_2 untuk intensitas hujan I_5
89
24. Perbandingan laju infiltrasi pada tiga jenis tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) dengan kepadatan D_3 untuk intensitas hujan I_5
90
25. Perbandingan laju infiltrasi pada tiga jenis tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) dengan kepadatan D_4 untuk intensitas hujan I_5
91
26. Perbandingan laju infiltrasi pada tiga jenis tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) dengan kepadatan D_1 untuk intensitas hujan I_{10}
93
27. Perbandingan laju infiltrasi pada tiga jenis tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) dengan kepadatan D_2 untuk intensitas hujan I_{10}
94
28. Perbandingan laju infiltrasi pada tiga jenis tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) dengan kepadatan D_3 untuk intensitas hujan I_{10}
95
29. Perbandingan laju infiltrasi pada tiga jenis tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) dengan kepadatan D_4 untuk intensitas hujan I_{10}
96
30. Perbandingan laju infiltrasi pada tiga jenis tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) dengan kepadatan D_1 untuk

intensitas hujan I_{25}	98
31. Perbandingan laju infiltrasi pada tiga jenis tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) dengan kepadatan D_2 untuk intensitas hujan I_{25}	99
32. Perbandingan laju infiltrasi pada tiga jenis tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) dengan kepadatan D_3 untuk intensitas hujan I_{25}	100
33. Perbandingan laju infiltrasi pada tiga jenis tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) dengan kepadatan D_4 untuk intensitas hujan I_{25}	101
34. Ilustrasi karakteristik tiga jenis sampel tanah	103
35. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan kepadatan awal (D_1) untuk Intensitas hujan, I_5	104
36. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan kepadatan/ pemampatan hujan (D_2) untuk Intensitas hujan, I_5	105
37. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar	

- (A_{k_1} , A_{k_3} dan A_{k_6}) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan kepadatan/ pemampatan hujan (D_3) untuk Intensitas hujan, I_5
- 107
38. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (A_{k_1} , A_{k_3} dan A_{k_6}) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan kepadatan/ pemampatan hujan (D_4) untuk Intensitas hujan, I_5
- 108
39. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (A_{k_1} , A_{k_3} , A_{k_6}) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan kepadatan awal (D_1) dengan Intensitas hujan, I_{10}
- 110
40. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (A_{k_1} , A_{k_3} dan A_{k_6}) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan kepadatan/ pemampatan hujan (D_2) untuk Intensitas hujan, I_{10}
- 111
41. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (A_{k_1} , A_{k_3} dan A_{k_6}) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan kepadatan/ pemampatan hujan (D_3) untuk Intensitas hujan, I_{10}
- 112

42. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan kepadatan/ pemampatan hujan (D_4) untuk Intensitas hujan, I_{10}
- 114
43. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan kepadatan awal (D_1) dengan Intensitas hujan, I_{25}
- 116
44. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan kepadatan/ pemampatan hujan (D_2) untuk Intensitas hujan, I_{25}
- 117
45. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan kepadatan/ pemampatan hujan (D_3) untuk Intensitas hujan, I_{25}
- 118
46. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan kepadatan/ pemampatan hujan (D_4) untuk Intensitas hujan, I_{25}

- 119
47. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (A_{k_1} , A_{k_3} dan A_{k_6}) pada sampel tanah dua (SS_2) dengan kepadatan awal (D_1) untuk Intensitas hujan, I_5
- 121
48. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (A_{k_1} , A_{k_3} dan A_{k_6}) pada sampel tanah dua (SS_2) dengan kepadatan/ pemampatan hujan (D_2) untuk Intensitas hujan, I_5
- 123
49. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (A_{k_1} , A_{k_3} dan A_{k_6}) pada sampel tanah dua (SS_2) dengan kepadatan/ pemampatan hujan (D_3) untuk Intensitas hujan, I_5
- 124
50. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (A_{k_1} , A_{k_3} dan A_{k_6}) pada sampel tanah dua (SS_2) dengan kepadatan/ pemampatan hujan (D_4) untuk Intensitas hujan, I_5
- 125
51. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (A_{k_1} , A_{k_3} dan A_{k_6}) pada sampel tanah dua (SS_2) dengan kepadatan awal (D_1) untuk Intensitas hujan I_{10}
- 127

52. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (A_{k_1} , A_{k_3} dan A_{k_6}) pada sampel tanah dua (SS_2) dengan kepadatan/ pemampatan hujan (D_2) untuk Intensitas hujan, I_{10}
- 128
53. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (A_{k_1} , A_{k_3} dan A_{k_6}) pada sampel tanah dua (SS_2) dengan kepadatan/ pemampatan hujan (D_3) untuk Intensitas hujan, I_{10}
- 129
54. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (A_{k_1} , A_{k_3} dan A_{k_6}) pada sampel tanah dua (SS_2) dengan kepadatan/ pemampatan hujan (D_4) untuk Intensitas hujan, I_{10}
- 130
55. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (A_{k_1} , A_{k_3} dan A_{k_6}) pada sampel tanah dua (SS_2) dengan kepadatan awal (D_1) untuk Intensitas hujan I_{25}
- 132
56. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (A_{k_1} , A_{k_3} dan A_{k_6}) pada sampel tanah dua (SS_2) dengan kepadatan/ pemampatan hujan (D_2) untuk Intensitas hujan, I_{25}

- 134
57. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah dua (SS_2) dengan kepadatan/ pemampatan hujan (D_3) untuk Intensitas hujan, I_{25}
- 135
58. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah dua (SS_2) dengan kepadatan/ pemampatan hujan (D_4) untuk Intensitas hujan, I_{25}
- 136
59. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan kepadatan awal (D_1) dengan Intensitas hujan I_5
- 138
60. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan kepadatan/ pemampatan hujan, D_2 untuk Intensitas hujan I_5
- 139
61. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan kepadatan/ pemampatan hujan, D_3 untuk Intensitas hujan I_5

- 141
62. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan kepadatan/ pemampatan hujan, D_4 untuk Intensitas hujan I_5
- 142
63. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan kepadatan awal (D_1) untuk Intensitas hujan, I_{10}
- 144
64. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan kepadatan/ pemampatan hujan, D_2 untuk Intensitas hujan, I_{10}
- 145
65. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan kepadatan/ pemampatan hujan, D_3 untuk Intensitas hujan, I_{10}
- 146
66. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah tiga (SS_3)

- dengan kepadatan/ pemampatan hujan, D_4 untuk Intensitas hujan, I_{10}
- 147
67. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan kepadatan awal (D_1) untuk Intensitas hujan, I_{25}
- 150
68. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan kepadatan/ pemampatan hujan, D_2 untuk Intensitas hujan, I_{25}
- 151
69. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan kepadatan/ pemampatan hujan, D_3 untuk Intensitas hujan, I_{25}
- 152
70. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan kepadatan/ pemampatan hujan, D_4 untuk Intensitas hujan, I_{25}
- 153
71. Ilustrasi Peranan akar pohon untuk tiga sampel tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3)
- 156

72. Pengaruh frekwensi hujan terhadap perubahan tingkat kepadatan dan pemampatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) pada sampel tanah satu (SS_1) untuk intensitas hujan, (I_5 , I_{10} , dan I_{25})
157
73. Pengaruh frekwensi hujan terhadap perubahan tingkat kepadatan dan pemampatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) pada sampel tanah dua (SS_2) untuk intensitas hujan, (I_5 , I_{10} , dan I_{25})
158
74. Pengaruh frekwensi hujan terhadap perubahan tingkat kepadatan dan pemampatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) pada sampel tanah tiga (SS_3) untuk intensitas hujan, (I_5 , I_{10} , dan I_{25})
159
75. Pengaruh kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) terhadap kapasitas infiltrasi (f_c) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan intensitas hujan, (I_5 , I_{10} , dan I_{25})
161
76. Pengaruh kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) terhadap kapasitas infiltrasi (f_c) pada sampel tanah dua (SS_2) dengan intensitas hujan, (I_5 , I_{10} , dan I_{25})
162
77. Pengaruh kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) terhadap kapasitas infiltrasi (f_c) pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan intensitas hujan, (I_5 , I_{10} , dan I_{25})
163
78. Pengaruh Kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) Waktu Akhir Infiltrasi (t_e) Pada Sampel Tanah Satu (SS_1) dengan Intensitas hujan, (I_5 , I_{10} , dan I_{25})
165

79. Pengaruh Kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) Waktu Akhir Infiltrasi (t_e) Pada Sampel Tanah Dua (SS_2) dengan Intensitas Hujan, (I_5 , I_{10} , dan I_{25}) 166
80. Pengaruh Kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) Waktu Akhir Infiltrasi (t_e) Pada Sampel Tanah Tiga (SS_3) dengan Intensitas hujan, (I_5 , I_{10} , dan I_{25}) 167
81. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (A_{k1} , A_{k3} dan A_{k6}) Terhadap Kapasitas Infiltrasi Konstan (f_c) Pada Sampel Tanah satu (SS_1) dengan Intensitas hujan I_5 170
82. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (A_{k1} , A_{k3} dan A_{k6}) Terhadap Kapasitas Infiltrasi Konstan (f_c) Pada Sampel Tanah Satu (SS_1) dengan Intensitas Hujan I_{10} 171
83. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (A_{k1} , A_{k3} dan A_{k6}) terhadap Kapasitas Infiltrasi Konstan (f_c) Pada Sampel Tanah Satu (SS_1) dengan Intensitas Hujan I_{25} 172
84. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (A_{k1} , A_{k3} dan A_{k6}) Terhadap Kapasitas Infiltrasi Konstan (f_c) Pada Sampel Tanah dua (SS_2) dengan Intensitas hujan, I_5 174
85. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (A_{k1} , A_{k3} dan A_{k6}) Terhadap Kapasitas Infiltrasi Konstan (f_c) Pada Sampel Tanah dua (SS_2) dengan Intensitas hujan

I_{10}	175
86. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Kapasitas Infiltrasi Konstan (f_c) Pada Sampel Tanah dua (SS_2) dengan Intensitas hujan I_{25}	177
87. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Kapasitas Infiltrasi Konstan (f_c) Pada Sampel Tanah tiga (SS_3) dengan Intensitas hujan I_5	179
88. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Kapasitas Infiltrasi Konstan (f_c) Pada Sampel Tanah tiga (SS_3) dengan Intensitas hujan I_{10}	180
89. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Kapasitas Infiltrasi Konstan (f_c) Pada Sampel Tanah tiga (SS_3) dengan Intensitas hujan I_{25}	181
90. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Waktu Akhir Infiltrasi (t_e) Pada Sampel Tanah satu (SS_1) dengan Intensitas hujan I_5	184
91. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Waktu Akhir Infiltrasi (t_e) Pada Sampel Tanah satu (SS_1) dengan Intensitas hujan I_{10}	185

92. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Waktu Akhir Infiltrasi (t_e) Pada Sampel Tanah satu (SS_1) dengan Intensitas hujan I_{25} 186
93. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Waktu Akhir Infiltrasi (t_e) Pada Sampel Tanah dua (SS_2) dengan Intensitas hujan I_5 188
94. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Waktu Akhir Infiltrasi (t_e) Pada Sampel Tanah dua (SS_2) dengan Intensitas hujan I_{10} 189
95. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Waktu Akhir Infiltrasi (t_e) Pada Sampel Tanah dua (SS_2) dengan Intensitas hujan I_{25} 190
96. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Waktu Akhir Infiltrasi (t_e) Pada Sampel Tanah tiga (SS_3) dengan Intensitas hujan I_5 193
97. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Waktu Akhir Infiltrasi (t_e) Pada Sampel Tanah tiga (SS_3) dengan Intensitas I_{10} 194
98. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Waktu Akhir Infiltrasi (t_e) Pada Sampel Tanah tiga (SS_3) dengan Intensitas hujan I_{25} 195
99. Ilustrasi peran formasi akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk tiga sampel tanah (SS_1 , SS_2 , SS_3) 198

100. Penentuan nilai m untuk formasi akar satu (Ak_1) dengan intensitas I_5 pada sampel tanah satu (SS_1) 201
101. Perbandingan antara laju infiltrasi amatan, Metode Horton dan Metode Horton-ARN dengan tiga formasi akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk intensitas I_5 pada sampel tanah satu (SS_1) 202
102. Perbandingan antara laju infiltrasi amatan, Metode Horton dan Metode Horton-ARN dengan tiga formasi akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk intensitas I_{10} pada sampel tanah satu (SS_1) 203
103. Perbandingan antara laju infiltrasi amatan, Metode Horton dan Metode Horton-ARN dengan tiga formasi akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk intensitas I_{25} pada sampel tanah satu (SS_1) 204
104. Perbandingan antara laju infiltrasi amatan, Metode Horton dan Metode Horton-ARN dengan tiga formasi akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk intensitas I_5 pada sampel tanah dua (SS_2) 205
105. Perbandingan antara laju infiltrasi amatan, Metode Horton dan Metode Horton-ARN dengan tiga formasi akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk intensitas I_{10} pada sampel tanah dua (SS_2) 206
106. Perbandingan antara laju infiltrasi amatan, Metode Horton dan Metode Horton-ARN dengan tiga formasi akar

- (Ak₁, Ak₃ dan Ak₆) untuk intensitas I₂₅ pada sampel tanah dua (SS₂) 207
107. Perbandingan antara laju infiltrasi amatan, Metode Horton dan Metode Horton-ARN dengan tiga formasi akar (Ak₁, Ak₃ dan Ak₆) untuk intensitas I₅ pada sampel tanah tiga (SS₃) 208
108. Perbandingan antara laju infiltrasi amatan, Metode Horton dan Metode Horton-ARN dengan tiga formasi akar (Ak₁, Ak₃ dan Ak₆) untuk intensitas I₁₀ pada sampel tanah tiga (SS₃) 209
109. Perbandingan antara laju infiltrasi amatan, Metode Horton dan Metode Horton-ARN dengan tiga formasi akar (Ak₁, Ak₃ dan Ak₆) untuk intensitas I₂₅ pada sampel tanah tiga (SS₃) 210

DAFTAR NOTASI

- A = Kapasitas infiltrasi maksimum setelah F_c tercapai
- a = Konstanta (Kostiyacov)
- Ak = Akar pohon
- Ak₁ = Formasi akar satu
- Ak₃ = Formasi akar tiga
- Ak₆ = Formasi akar enam
- b = Konstanta (Kostiyacov)
- C = Koefisien resesi untuk Metode Horton Modifikasi
- C₁ = Konstanta untuk koefisien permabilitas (-1615,381)
- C₂ = Konstanta untuk intensitas curah hujan (0,0004299)
- C₃ = Konstanta untuk kepadatan (-0,016)
- C₄ = Konstanta untuk akar pohon (-0,035)
- C,D = Konstanta yang dipengaruhi oleh faktor lahan dan kadar air tanah awal
- D = Kepadatan tanah
- D₁ = Kepadatan tanah awal sebelum diujani
- D₂ = Kepadatan tanah setelah hujan pertama
- D₃ = Kepadatan tanah setelah hujan kedua
- D₄ = Kepadatan tanah setelah hujan tiga
- e = Eksponensial (2,71828)

F = Kapasitas infiltrasi

F = Infiltrasi Kumulatif (Green-Ampt)

F_{\max} = Kapasitas infiltrasi dengan permukaan tanah terendam air

f_c = Kapasitas infiltrasi konstan

f_p = Kapasitas infiltrasi nyata

f_o = Kapasitas infiltrasi awal

f_t = Kapasitas infiltrasi pada saat t

ΔH = Gradien potensial

H = Potensial total (potensial hisapan matriks dan gravitasi)

I = Intensitas hujan

I_5 = Intensitas kala ulang lima tahun

I_{10} = Intensitas kala ulang 10 tahun

I_{25} = Intesnitas kala ulang 25 tahun

K = Konduktifitas hidrolis

$K(S)$ = Konduktivitas hidrolis yang dipengaruhi oleh S

k = konstanta yang menunjukkan laju penguapan kapasitas infiltrasi

K_p = Koefisien permeabilitas

kp_1 = Koefisien permeabilitas sampel tanah satu (Tamalate 3)

kp_2 = Koefisien permeabilitas sampel tanah dua (Tidung 9)

kp_3 = Koefisien permeabilitas sampel tanah tiga (Hertasning)

L = Tebal lapisan tanah

m = gradien garis dari regresi linear grafik hubungan $\ln (ft - fc)$ dengan waktu

P = Koefisien non dimensional, merepresentasikan korelasi antara tingkat penurunan infiltrasi dengan peningkatan kelembaban tanah

P_{iv} = volume air yang dapat disimpan sebelum jenuh

S = Hisapan matriks tanah

SS_1 = Sampel tanah satu (Tamalate 3)

SS_2 = Sampel tanah dua (Tidung 9)

SS_3 = Sampel tanah tiga (Hertasning)

T_p = Total volume ruang pori

t = Waktu

t_o = Waktu awal infiltrasi

t_c = Waktu konstan infiltrasi

V = Debit flux atau debit persatuan penampang

ψ = Tekanan isap

$\Delta\theta$ = Perubahan kelembaban

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Pertumbuhan penduduk dan urbanisasi mendorong pertumbuhan kota yang pesat. Seiring dengan itu diikuti dengan beragamnya aktifitas pembangunan yang berakibat berubahnya tata guna lahan perkotaan. Alih fungsi lahan/ruang terbuka hijau yang berubah menjadi pusat aktivitas kota seperti bisnis, pemukiman, fasilitas sosial yang kesemuanya dilengkapi dengan berbagai fasilitas penunjang berupa pekerjaan sipil (jalan raya, jalan kota, jalan perumahan dengan bahan konstruksi *rigid*, sehingga menurunkan fungsi resapan pada lahan.

Pembangunan pusat pemukiman yang dilakukan dengan terlebih dahulu melakukan penimbunan yang umumnya menggunakan timbunan dari bahan/tanah kedap air, hal ini juga memberikan peranan besar menurunkan fungsi resapan dan pada waktu yang bersamaan terjadi peningkatan aliran permukaan.

Kapasitas drainase yang ada dalam sistim jaringan menurun sebagai akibat dari tidak terpeliharanya saluran drainase secara baik. Skala prioritas pembangunan yang tidak tertata. Sehingga akibat kelanjutannya adalah ketidak mampuan sistim jaringan drainase mengalirkan air secara kontinyu ke hilir dalam waktu yang relatif singkat.

Kota Makassar yang merupakan ibu kota provinsi Sulawesi Selatan sekaligus sebagai pintu gerbang Indonesia bagian timur, merupakan salah satu kota yang mengalami pertumbuhan yang cukup pesat. Seiring dengan pesatnya pertumbuhan tersebut, alih fungsi lahan menjadi pemukiman, pusat bisnis, penimbunan dengan bahan kedap air serta fungsi drainase yang tidak maksimal, adalah gambaran dari beberapa kondisi yang menjadi pendorong timbulnya permasalahan banjir pada setiap musim hujan terutama banjir genangan akibat air hujan (*inundation*).

Dinas Pekerjaan Umum (PU) Kota Makassar mengidentifikasi sebanyak 22 titik rawan banjir genangan di kota Makassar saat musim hujan tiba, yang terdiri atas jalan raya dan perkampungan warga (paloponews.com, 26/1/2013).



Gambar 1. Kondisi banjir genangan di Makassar akibat hujan (a) di jalan raya, dan (b) di perkampungan warga (sumber: metro.kompasiana.com dan kabarkami.com, 3/1/2013)

Faktor-faktor penyebab banjir menurut Menkimpraswil (2002), antara lain adalah; 1) kondisi daerah aliran sungai, 2) sedimentasi badan-badan air, 3) kondisi waduk/danau sebagai penahan air, 4) tingkat urbanisasi yang tinggi, 5) kondisi geomorfologi, 6) geologi, 7) hidrologi (siklus, kaitan hulu-hilir, kecepatan aliran), 8) iklim dan 9) pasang surut air laut yang dipengaruhi oleh fenomena pemanasan global.

Padatnya pembangunan mengakibatkan menurunnya kemampuan maupun ruang infiltrasi ke dalam tanah sehingga mengakibatkan terjadinya volume limpasan permukaan yang semakin meningkat. Proses selanjutnya limpasan permukaan akan terus terbuang ke saluran hingga ke laut. Di sisi lain pada waktu yang bersamaan, air bersih juga sesungguhnya sangat dibutuhkan untuk keperluan hidup sehari-hari. Menurut Sunjoto (2012), Volume air yang terbuang melalui sistim drainase konvensional adalah $37,90 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{tahun}$ setara dengan volume air yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan air domestik yakni sebesar $36,50 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{tahun}$.

Peningkatan kapasitas infiltrasi dengan berbagai teknologi sistem peresapan baik secara teknis ataupun pendekatan lain, menurut Sunjoto (2012) dapat memberikan keuntungan berupa :

1. Memperkecil puncak *hydrograph* di hilir
2. Mereduksi dimensi jaringan drainase
3. Mencegah banjir lokal
4. Memperkecil konsentrasi pencemaran

5. Mempertahankan tinggi muka air tanah
6. Mencegah intrusi air laut
7. Mencegah *land subsidence* dan *sinkhole*
8. Konservasi air

Dari uraian tentang beberapa keadaan yang tersebut pada uraian sebelumnya maka dipandang perlu melakukan inovasi teknik pengelolaan air yang berwawasan lingkungan, terutama yang terkait dengan fenomena banjir genangan sebagai akibat dari menurunnya tingkat kemampuan infiltrasi tanah sehingga terjadi peningkatan aliran permukaan.

Sebagai alternatif untuk mengatasi masalah genangan permukaan maka diupayakan adanya teknologi peresapan air ke dalam tanah secara alami dengan menggunakan akar tanaman yang diharapkan dapat meningkatkan kapasitas infiltrasi, dan dalam waktu yang bersamaan dapat menurunkan tingkat aliran permukaan (*surface run off*), tanpa harus menghalangi pembangunan kota yang terus berkembang. Selain itu juga akan memberikan manfaat bagi imbuhan air tanah sehingga kelestarian air tanah dapat dipertahankan.

Berbagai inovasi teknologi telah dikembangkan dewasa ini dalam upaya menanggulangi permasalahan penutupan lahan yang berdampak pada kurangnya daerah resapan di daerah perkotaan. Menurut Harianto (2008 dalam Arfan 2011), penggunaan lapisan pasir (*sand lens*) cukup efektif sebagai lapisan untuk penyimpanan air di dalam tanah. Peneliti lain Khire dkk (1999); Stormont, J.C, (1995 dalam Arfan 2011) menggunakan

lapisan *capillary barrier* dalam usaha meningkatkan kapasitas air yang dapat diserap ke dalam tanah. Teknologi semacam ini merupakan upaya peningkatan kapasitas tampungan (*reservoir*) air tanah di dalam lapisan tanah. Sedangkan teknologi yang bertujuan meningkatkan peresapan air permukaan ke dalam lapisan tanah, telah dikembangkan beberapa jenis teknologi imbuhan buatan (*artificial recharge*) oleh para ahli antara lain sistem imbuhan injeksi (*injection recharge*) yang telah digunakan di berbagai negara yang telah mengalami krisis air tanah, seperti di India, Pakistan, Ethiopia, dan negara-negara Afrika lainnya. Selain itu juga telah dikembangkan beberapa teknologi imbuhan yang dikhususkan untuk meresapkan air ke dalam akuifer dangkal (*shallow aquifer*), seperti sistem biopori (Brata K.R., 1995), dan sistem pipa komposter (Bouwer Herman, 2002).

Akan tetapi pengimbuhan air dari permukaan ke dalam lapisan tanah yang paling besar adalah melalui imbuhan alamiah (*natural recharge*), baik yang berupa infiltrasi melalui pori-pori tanah, maupun aliran air melalui media akar pohon (tumbuhan).

Penelitian ini diarahkan untuk menemukan suatu temuan baru tentang upaya meningkatkan daya infiltrasi ke dalam tanah, mengurangi limpasan permukaan (*run off*) dan menambah waktu konsentrasi dari aliran permukaan serta pengisian kembali air tanah (*groundwater recharge*), melalui rembesan dengan menggunakan media akar pohon sebagai media penghantar infiltrasi.

Untuk tujuan tersebut maka dilakukan penelitian model fisik laboratorium yang meliputi; 1) Analisis kapasitas infiltrasi pada kondisi tanah asli serta kapasitas infiltrasi akibat kepadatan dan pemampatan tanah akibat hujan terhadap suatu intensitas curah hujan, 2) analisis terhadap kinerja akar pohon terhadap kapasitas infiltrasi pada suatu karakteristik tanah akibat suatu intensitas curah hujan, 3) pengaruh jumlah formasi akar pohon terhadap peningkatan kapasitas infiltrasi akibat suatu intensitas curah hujan, dan 4) Formulasi persamaan umum kapasitas infiltrasi yang dihasilkan dari pengembangan rumus kapasitas infiltrasi yang telah ada berdasarkan parameter penelitian.

Intensitas curah hujan dalam penelitian ini diperoleh dari perhitungan intensitas curah hujan rencana dengan menggunakan data curah hujan di wilayah Makassar, kemudian hasil perhitungan intensitas curah hujan tersebut dijadikan data simulasi hujan pada alat simulasi hujan (*rainfall simulator*). Sedangkan sampel tanah diambil dari daerah pemukiman yang cukup padat huni yakni daerah Minasa Upa, Perumnas Tidung dan Tamalate, Kota Makassar.

B. Rumusan Masalah

Dalam upaya pelaksanaan penelitian yang lebih terarah, maka disusun beberapa rumusan masalah berikut ini :

1. Bagaimana laju dan kapasitas infiltrasi pada kondisi tanah asli (tanpa akar) terhadap kepadatan dan pemampatan tanah dengan berbagai intensitas curah hujan.
2. Bagaimana kinerja akar pohon terhadap peningkatan kapasitas infiltrasi terhadap kepadatan dan pemampatan tanah dengan berbagai intensitas curah hujan.
3. Sejauh mana pengaruh kerapatan akar pohon terhadap perubahan laju dan kapasitas infiltrasi terhadap kepadatan dan pemampatan tanah dengan berbagai intensitas curah hujan.
4. Bagaimana bentuk persamaan umum kapasitas infiltrasi yang dihasilkan dari parameter penelitian berdasarkan pengembangan rumus kapasitas infiltrasi yang telah ada sebelumnya

C. Maksud dan Tujuan Penelitian

Mengacu pada rumusan masalah pada uraian terdahulu, maka penelitian ini dimaksudkan untuk melakukan analisis terhadap penggunaan akar pohon sebagai media untuk meningkatkan kapasitas infiltrasi untuk mereduksi aliran permukaan (*run off*). Untuk mencapai maksud tersebut maka tujuan penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Menganalisis laju dan kapasitas infiltrasi pada kondisi tanah asli (tanpa akar) dengan kepadatan dan pemampatan tanah dengan berbagai intensitas curah hujan.

2. Menganalisis kinerja akar pohon terhadap peningkatan kapasitas infiltrasi dengan kepadatan dan pemampatan tanah dengan berbagai intensitas curah hujan.
3. Menganalisis pengaruh kerapatan akar pohon terhadap perubahan laju dan kapasitas infiltrasi dengan kepadatan dan pemampatan tanah dengan berbagai intensitas curah hujan.
4. Menyusun formulasi bentuk persamaan umum kapasitas infiltrasi yang dihasilkan dari parameter penelitian dan membandingkannya dengan hasil amatan dan metode Horton.

D. Batasan Masalah

Ada beberapa hal yang menjadi kondisi batas dalam penelitian ini, antara lain:

1. Dalam pengaturan formasi akar diatur berdasarkan posisi lubang-lubang infiltrasi pada bak sampel sehingga parameter yang digunakan adalah variasi kerapatan akar pohon, tidak menggunakan variasi jarak pohon.
2. Fungsi lain akar (misalnya fungsi menyerap dan menyimpan air) dihilangkan dengan cara mencukur daun tanaman, sehingga akar hanya berfungsi sebagai media penghantar infiltrasi.
3. Tanah bawaan dari pembibitan dibuang untuk menghindari perbedaan gradasi dan kepadatan dengan sampel tanah di dalam bak sampel.

E. Manfaat Penelitian

Dengan berjalannya penelitian ini, maka diharapkan dapat memperoleh manfaat sebagai berikut :

1. Dengan adanya teknologi peningkatan kapasitas infiltrasi secara artificial, maka dapat menjadi solusi alternatif untuk mengurangi volume limpasan permukaan (*run off*) yang mengakibatkan genangan banjir sekaligus menambah imbuhan air tanah tanpa menghambat proses pembangunan imprastuktur.
2. Mengurangi beban aliran yang masuk ke jaringan drainase kota melalui saluran pada system drainase kota.
3. Mengatur keseimbangan kebutuhan dan ketersediaan air pada suatu areal pembangunan komunal seperti perumahan, perkantoran umum, kompleks pendidikan, dan sebagainya.
4. Menjadi tambahan khasana ilmu pengetahuan dalam kontribusi bermakna terhadap pengemabangan pengelolaan sumber daya air berwawasan lingkungan.
5. Memberi kontribusi dalam menambah wawasan penelitian dalam bidang rekayasa pengembangan sumber daya air.

F. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan dengan pemodelan di laboratorium, mengambil sampel tanah pada tiga lokasi perumahan di wilayah kota Makassar yakni lokasi perumahan Minasa Upa, Perumnas Tidung dan Tamalate yang dianggap mewakili tiga kondisi pembagian tata guna lahan (*land use*) yang dapat menyumbang daerah infiltrasi sehingga dapat mereduksi genangan banjir akibat hujan.
2. Beberapa parameter penelitian pada tiap tahapan uji atau pengamatan sebagai berikut: a). untuk tahapan pengamatan terhadap kapasitas infiltrasi pada kondisi tanah asli serta kapasitas infiltrasi akibat kepadatan dan pemampatan tanah akibat hujan terhadap suatu intensitas curah hujan, parameternya adalah tiga jenis tanah yang diwakili oleh koefisien permeabilitas (k), tiga type intensitas curah hujan (I) dan empat variasi kepadatan tanah (D). Selanjutnya b). untuk tahapan analisis kinerja akar pohon terhadap peningkatan kapasitas infiltrasi pada suatu karakteristik tanah terhadap suatu intensitas curah hujan, parameternya adalah tiga jenis tanah yang diwakili oleh koefisien permeabilitas (k), tiga type intensitas curah hujan (I) dan empat variasi kepadatan tanah (D) serta tiga variasi formasi akar pohon (A_k), dan c). untuk tahapan pengujian/pengamatan pengaruh kerapatan akar pohon terhadap peningkatan kapasitas infiltrasi terhadap suatu intensitas curah hujan, parameternya sama dengan point (b) yang telah diuraikan sebelumnya.

Hasil atau temuan penelitian diharapkan dapat menjadi pendorong untuk menyadari betapa pentingnya peranan akar pohon dalam

meningkatkan kapasitas infiltrasi sehingga dapat diterapkan terutama pada pembangunan areal perumahan atau perkantoran yang ditata secara proporsional berdasarkan tata ruang yang terdiri atas bangunan, fasilitas dan ruang terbuka hijau.

G. Hipotesis

Hipotesis yang dibangun dalam penelitian model fisik ini adalah bahwa akan terjadi peningkatan kapasitas infiltrasi yang signifikan jika terdapat akar pohon yang berfungsi sebagai media pengantar infiltrasi ke dalam lapisan tanah. Hal ini disebabkan oleh adanya kinerja akar pohon dalam membuka ruang pori tanah untuk menghantar infiltrasi dan pengaruh formasi jumlah akar pohon dalam luasan tertentu.

H. Sistematika Penelitian

Penelitian kajian model penggunaan akar pohon sebagai media pengantar infiltrasi dalam upaya mereduksi genangan banjir dilakukan dengan uji model fisik di laboratorium.

Penelitian dimulai dengan penelusuran pustaka dan telaah penelitian terdahulu, pengambilan data sekunder dari instansi terkait yang dibutuhkan dalam penelitian ini. Selanjutnya dilakukan pengambilan data primer dari pengamatan terhadap berbagai parameter penelitian yang telah ditetapkan dalam desain penelitian. Hasil data amatan akan

dianalisa dan dilakukan kajian serta pembahasan untuk mendapatkan tujuan penelitian ini.

Penelitian ini akan disusun dalam 5 bab, terdiri dari: Bab I, pendahuluan yang berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, sistematika penelitian serta kebaruan atau temuan penelitian. Bab II, tinjauan pustaka yang berisi; teori umum tentang infiltrasi, akar pohon dan proses infiltrasi, pengembangan model fisik penggunaan akar pohon untuk meningkatkan laju dan kapasitas infiltrasi, dan tinjauan tentang beberapa penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian ini. Bab III, metode penelitian berisi tentang rancangan penelitian, lokasi dan waktu penelitian, pemodelan fisik, pengukuran dan pengambilan data, analisis dan validasi data, serta perumusan formulasi hasil penelitian dengan metode analisis dimensi dan statistik. Bab IV, hasil dan pembahasan berisi tentang deskripsi hasil penelitian, analisis data, dan pembahasan, serta bab V, merupakan penutup yang berisi kesimpulan dan saran.

I. Kebaruan Penelitian

Penelitian ini memberikan temuan baru di bidang teknologi imbuhan alamiah yang dimaksudkan untuk meningkatkan kapasitas infiltrasi air ke dalam tanah, dengan memanfaatkan peranan dari akar pohon sebagai media peningkatan kapasitas resapan air ke dalam lapisan tanah, dengan menggunakan variabel kerapatan akar (*root density*) dan variabel

kepadatan tanah (*soil relative density*). Nilai kebaruan (*novelty value*) yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini adalah rumusan formula kapasitas infiltrasi (f_t) yang dikaitkan dengan variabel kerapatan akar (A_k), Kepadatan tanah (D), Intensitas curah hujan (I), Waktu (t), dan koefisien permeabilitas tanah (k).

Diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi acuan bagi para pengambil kebijakan dalam upaya mereduksi aliran permukaan, dan sekaligus meningkatkan volume reservoir air tanah secara alamiah, yang efisien dan bersifat ramah lingkungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Infiltrasi

1. Pengertian Laju dan Kapasitas Infiltrasi

Infiltrasi dapat diartikan sebagai aliran vertikal air ke dalam tanah melalui permukaan tanah (Triatmodjo, 2010 dan Hadisusanto, 2011), sedangkan Sosrodarsono (1987), mendefinisikan infiltrasi sebagai proses masuknya air hujan ke dalam tanah dan turun ke permukaan air tanah. Peristiwa yang terjadi terhadap curah hujan yang jatuh setelah mencapai permukaan tanah adalah pergerakan air sebagai limpasan permukaan dan infiltrasi. Proporsi kedua peristiwa tersebut tergantung pada besar kecilnya intensitas curah hujan terhadap kapasitas infiltrasi. Air yang terinfiltrasi ke dalam tanah meningkatkan kelembaban tanah atau terus ke dalam air tanah.

Dalam berbagai hal tertentu, infiltrasi itu berubah-ubah sesuai dengan intensitas curah hujan. Akan tetapi setelah mencapai limitnya, banyaknya infiltrasi akan berlangsung terus sesuai dengan kecepatan absorpsi maksimum setiap tanah bersangkutan. Kecepatan infiltrasi yang berubah-ubah sesuai dengan variasi intensitas curah hujan umumnya disebut laju infiltrasi. Laju infiltrasi maksimum yang terjadi pada suatu

kondisi tertentu disebut kapasitas infiltrasi (f). Kapasitas infiltrasi itu berbeda-beda menurut kondisi tanah (Sosrodarsono dan Takeda, 1987). Menurut Sri Harto (1993) kapasitas infiltrasi (*infiltration capacity*) adalah laju infiltrasi maksimum untuk suatu jenis tanah tertentu.

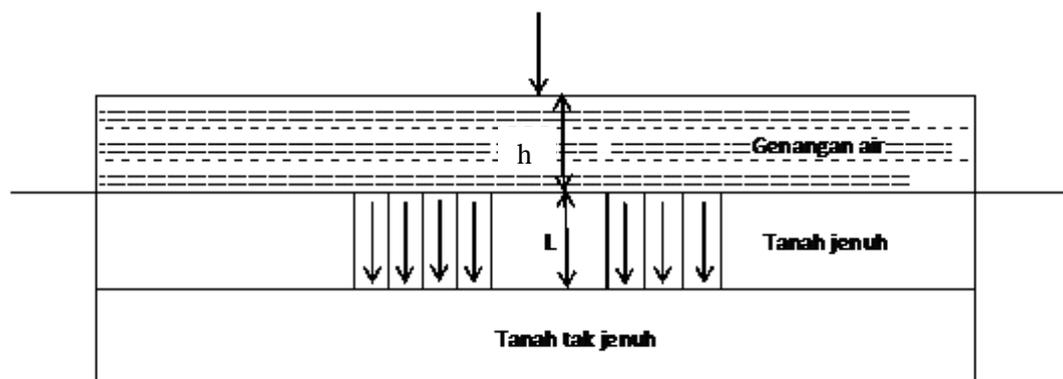
2. Faktor-faktor pengaruh infiltrasi

Ada beberapa faktor yang berpengaruh terhadap infiltrasi. Menurut Sosrodarsono (1987), faktor-faktor pengaruh infiltrasi adalah: 1) dalamnya genangan di atas permukaan tanah dan tebalnya lapisan yang jenuh, 2) kelembaban tanah, 3) pemampatan oleh curah hujan, 4) penyumbatan oleh bahan-bahan yang halus, 5) pemampatan oleh orang dan hewan, 6) struktur tanah, dan 7) tumbuh-tumbuhan. Hal yang sama juga disebutkan oleh Triatmodjo (2010); faktor 1 sampai 4 sama dengan uraian sebelumnya namun ditambahkan faktor-faktor; 1) tanaman penutup, 2) topografi, dan 3) intensitas hujan. Sedangkan Hadisusanto (2011), menambahkan faktor tersebut dengan; 1) kadar air dalam tanah, dan 2) kondisi iklim.

a. Kedalaman genangan dan tebal lapis jenuh

Menurut Triatmodjo (2010), air yang tergenang di atas permukaan tanah terinfiltrasi ke dalam tanah yang menyebabkan suatu lapisan di bawah permukaan tanah menjadi jenuh air. Jika tebal lapisan tanah adalah L dapat dianggap bahwa air mengalir ke bawah melalui sejumlah tabung kecil yang menyerupai aliran melalui pipa. Kedalaman genangan di atas permukaan tanah (h) memberikan tinggi tekanan pada ujung atas

tabung, sehingga tinggi tekanan total yang menyebabkan aliran adalah $h + L$. Tahanan terhadap aliran yang diberikan oleh tanah adalah sebanding dengan tebal lapis jenuh air L . Pada awal hujan ketika L lebih kecil dibanding dengan h , tinggi tekanan lebih besar dibanding dengan tahanan terhadap aliran sehingga air masuk ke dalam tanah dengan cepat. Sejalan dengan waktu, L bertambah dalam melebihi h , sehingga tahanan terhadap aliran semakin besar. Pada kondisi tersebut kecepatan infiltrasi berkurang. Bila L sangat lebih besar dari pada h , perubahan L mempunyai pengaruh yang hampir sama dengan gaya tekanan dan hambatan, sehingga laju infiltrasi hampir konstan. Ilustrasi tentang proses terinfiltrasinya genangan air permukaan ke dalam tanah diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Genangan pada permukaan tanah

b. Kelembaban tanah

Jumlah kadar air mempengaruhi kapasitas infiltrasi. Pada saat air jatuh pada tanah kering, permukaan atas tanah tersebut menjadi basah, sedang bagian bawahnya relatif kering, sehingga terdapat perbedaan yang besar dari gaya kapiler antara permukaan atas tanah dan yang ada

di bawahnya. Perbedaan tersebut mengakibatkan terjadinya gaya kapiler yang bekerja bersama-sama dengan gaya berat, sehingga air bergerak ke bawah (infiltrasi) dengan cepat. Dengan bertambahnya waktu, permukaan bawah tanah menjadi basah, sehingga perbedaan gaya kapiler berkurang, sehingga infiltrasi berkurang. Selain itu, ketika tanah menjadi basah koloid yang terdapat dalam tanah akan mengembang dan menutupi pori-pori tanah, sehingga mengurangi kapasitas infiltrasi pada periode awal hujan (Triatmodjo, 2010).

c. Pemampatan oleh curah hujan

Ketika hujan jatuh di atas tanah, butir tanah mengalami pemadatan oleh butiran air hujan. Pemadatan tersebut mengurangi pori-pori tanah yang berbutir halus (seperti lempung), sehingga dapat mengurangi kapasitas infiltrasi. Untuk tanah pasir, pengaruh tersebut sangat kecil (Triatmodjo, 2010).

d. Penyumbatan oleh bahan-bahan yang halus

Pada saat tanah sangat kering, permukaannya sering terdapat butiran halus. Ketika hujan turun dan infiltrasi terjadi, butiran halus tersebut terbawa masuk ke dalam tanah, dan mengisi pori-pori tanah, sehingga mengurangi kapasitas infiltrasi. (Triatmodjo, 2010).

e. Pemampatan oleh orang dan hewan

Pada bagian yang menjadi lalu lintas orang atau kendaraan, permeabilitas tanah berkurang karena struktur butir-butir tanah dan ruang-

ruang yang berbentuk pipa halus telah rusak sehingga tidak dapat berfungsi lagi. Contoh-contohnya adalah kebun rumput tempat memelihara banyak hewan, lapangan permainan dan jalan tanah (Sosrodarsono, 1987).

f. Struktur tanah

Lubang di dalam tanah yang digali oleh binatang-binatang kecil dan serangga, akar-akar tanaman yang mati, mengakibatkan permeabilitas yang tinggi. Akan tetapi mengingat jenis tanah ini sangat peka terhadap gaya pemampatan curah hujan maka sering kali harga f itu tiba-tiba berkurang selama curah hujan (Sosrodarsono, 1987)

g. Tumbuh-tumbuhan

Jika permukaan air tanah tertutup oleh pohon-pohon dan rumput-rumputan maka proses infiltrasi dapat dipercepat. Tumbuh-tumbuhan bukan hanya melindungi permukaan tanah dari gaya pemampatan curah hujan, tetapi juga lapisan humus yang terjadi mempercepat penggalian-penggalian serangga dan lain-lain (Sosrodarsono, 1987).

h. Topografi

Kondisi topografi juga mempengaruhi infiltrasi. Pada lahan dengan kemiringan besar, aliran permukaan mempunyai kecepatan besar sehingga air kekurangan waktu untuk infiltrasi. Akibatnya sebagian besar air hujan menjadi aliran permukaan. Sebaliknya, pada lahan yang datar air

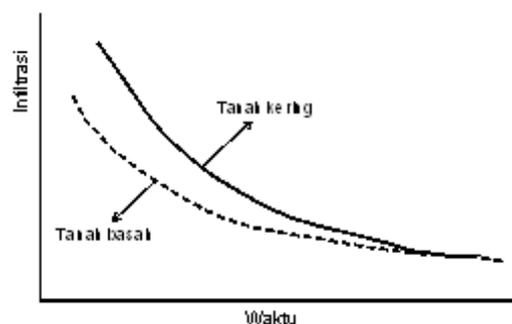
menggenang sehingga mempunyai waktu cukup banyak untuk infiltrasi. (Triatmodjo, 2010)

i. Intensitas hujan

Intensitas hujan juga berpengaruh terhadap kapasitas infiltrasi. Jika intensitas hujan (I) lebih kecil dari kapasitas infiltrasi, maka laju infiltrasi aktual adalah sama dengan intensitas hujan. Apabila intensitas hujan lebih besar dari kapasitas infiltrasi, maka laju infiltrasi aktual sama dengan kapasitas infiltrasi. (Triatmodjo, 2010).

j. Kadar air dalam tanah

Agregat tanah yang jenuh akibat air hujan, apabila kena tetasan air hujan akan mengakibatkan agregat tanah cepat lepas sehingga pada peristiwa ini kecepatan infiltrasi akan menurun, tetapi pada waktu permukaan tanah masih kering, air hujan sebagian besar akan meresap ke dalam tanah, selanjutnya mengalami perkolasi. Pada kondisi demikian lapisan permukaan tanah akan menjadi setengah jenuh dan menyebabkan menurunnya kapasitas infiltrasi.



Gambar 3. Pengaruh kadar air dalam tanah terhadap infiltrasi

3. Pengukuran infiltrasi

Cara pengukuran besarnya infiltrasi telah dikenal dengan tiga metode Knapp (1987) dalam Asdak (2007), yakni: 1) percobaan laboratorium dengan menggunakan alat simulasi hujan buatan, 2) menggunakan alat infiltrometer, dan 3) memisahkan hidrograf aliran dari data aliran air hujan.

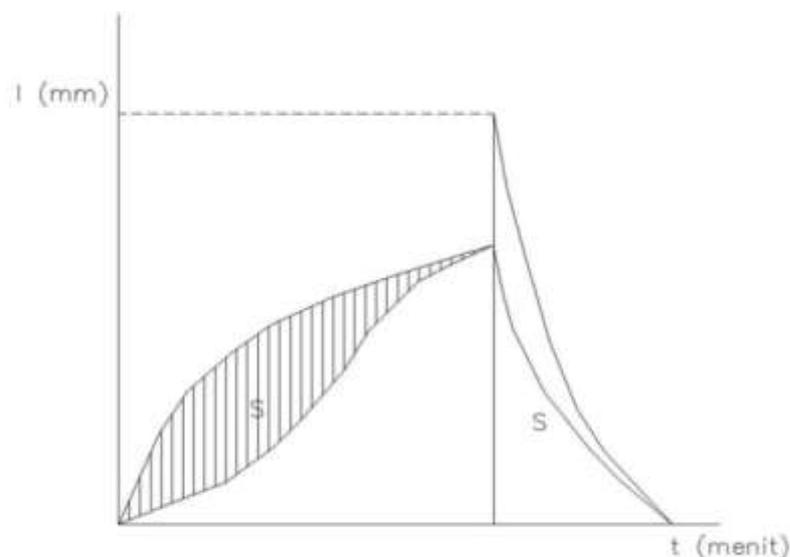
Dalam disertasi ini akan difokuskan pada pengukuran dan pengamatan infiltrasi dengan percobaan laboratorium yaitu menggunakan alat simulasi hujan (*rainfall simulator*).

Simulasi hujan adalah menerapkan hujan tiruan yang diinginkan untuk penelitian antara lain: erosi, infiltrasi dan intersepsi. *Rainfall simulator* dapat mengendalikan hujan seperti yang diinginkan (Thomas et.al., 1991 dalam Sri Harto, 1993). *Rainfall simulator* adalah alat yang dapat dipergunakan untuk mempelajari parameter hidrologi seperti infiltrasi dan *runoff* dibawah pemakaian hujan yang terkontrol (Fasier, 1977 dalam Sri Harto, 1993).

Pengukuran dengan *rainfall simulator* dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut (Sri Harto, 1993):

- a. Penyiapan petak tanah yang akan digunakan sebagai tempat percobaan dengan ukuran yang sesuai dengan ukuran alatnya. Hendaknya diyakini bahwa petak tanah tersebut benar-benar telah terisolir dari daerah sekitarnya.
- b. Alat dipasang di tempatnya. Intensitas hujan buatan yang akan digunakan perlu ditetapkan dahulu dengan mengatur debit pompa.

- c. Hujan buatan dioperasikan dengan intensitas sesuai dengan yang telah ditetapkan sebelumnya dan sejak saat yang sama semua air yang keluar dari petak tanah dicatat. Pencatatan terus dilakukan sampai suatu saat debit yang keluar dari petak tanah tersebut mencapai nilai tetap (*constant discharge*). Bila keadaan itu telah tercapai, maka hujan buatan dapat dihentikan. Pada keadaan demikian berarti telah tercapai keseimbangan antara hujan, debit dan kehilangan air (infiltrasi).
- d. Hasil simulasi disajikan dalam Gambar 4. Pada saat hujan buatan telah dihentikan tidak berarti debit yang keluar dari petak tanah itu terhenti. Karena masih adanya *surface detention* maka masih terdapat aliran keluar dari petak tanah tersebut. Oleh sebab itu, pengukuran debit masih harus terus dilakukan sampai betul-betul debit keluar petak tanah sama dengan nol.



Gambar 4. Hasil percobaan rainfall simulator (Sri Harto. 1993)

- e. Selama masih ada air di permukaan tanah, maka selama itu pula masih terjadi proses infiltrasi. Dalam hal ini laju infiltrasi diperkirakan sebanding dengan perbandingan debit dan infiltrasi pada saat hujan buatan dihentikan.
- f. Evaluasi terhadap hasil percobaan ini dapat dilakukan dengan pengertian berikut. Memperhatikan bahwa pada saat hujan buatan mulai dihentikan sampai dengan debit keluar dari petak tanah sama dengan nol, maka pengertian serupa dapat dianalogikan pada saat pertama kali hujan buatan dioperasikan di dalam petak tanah juga akan terjadi penampungan, hujan seimbang dengan debit dan infiltrasi. Sehingga dengan pengertian tersebut maka volume air yang keluar mulai hujan buatan dihentikan (termasuk infiltrasi) dapat sama dengan volume air yang terbentuk pada saat hujan dimulai sampai terjadi keseimbangan. Maka garis lengkung infiltrasi dapat ditarik dengan coba-coba sehingga volume yang terjadi sama.

4. Formulasi laju infiltrasi

Formulasi perhitungan laju dan kapasitas infiltrasi telah diperkenalkan oleh beberapa ahli dalam *literature hydrologi*. Berikut ini akan dipaparkan beberapa cara untuk melakukan perhitungan infiltrasi.

a. Perhitungan laju infiltrasi Metode Philip

Laju infiltrasi (*infiltration rate*) menurut Philip merupakan persamaan empiris yang bergantung pada waktu (*time dependent equation*). Philip mengajukan model persamaan laju infiltrasi sebagai berikut:

$$f_p - f_c = \left(\frac{a}{2}\right)^{1/2} t^{-1/2} t \quad (1)$$

Dari rumus ini dapat diturunkan sebagai berikut:

$$f_p - f_c = a (F_o - F_p)^{-1} \quad (2)$$

Yang analog dengan rumus

$$F_p = F_o - \int_c^t (f_p - f_c) dt \quad (3)$$

Keterangan;

f_p : laju infiltrasi nyata (cm/jam)

f_c : laju infiltrasi tetap (cm/jam)

f_o : laju infiltrasi awal (cm/jam)

t : waktu

Soemarto (1987) memberikan petunjuk agar sebelum menggunakan rumus-rumus tersebut terlebih dahulu haruslah diketahui nilai a dan F_p . Kesulitan yang ditemui dalam penyelesaiannya adalah karena dalam daerah pengaliran terdapat banyak macam tanah. Selain itu, kehilangan-kehilangan selama waktu hujan bukan hanya akibat infiltrasi saja, tetapi disebabkan juga oleh intersepsi dan tampungan di cekungan, sementara dalam praktek yang diperlukan adalah kehilangan total.

b. Perhitungan laju infiltrasi Menurut Horton

Model Horton adalah salah satu model infiltrasi yang terkenal dalam hidrologi. Horton mengatakan bahwa kapasitas infiltrasi berkurang seiring dengan bertambahnya waktu hingga mendekati nilai yang konstan. Horton memberikan pandangannya bahwa penurunan kapasitas infiltrasi lebih

dikontrol oleh faktor yang beroperasi di permukaan tanah dibanding dengan proses aliran di dalam tanah. Faktor yang berperan untuk pengurangan laju infiltrasi seperti penutupan retakan tanah oleh koloid tanah dan pembentukan kerak tanah, penghancuran struktur permukaan lahan dan pengangkutan partikel halus dipermukaan tanah oleh tetesan air hujan. Model laju perhitungan Horton yaitu :

$$f_t = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad (4)$$

$$f_t - f_c = (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad (5)$$

Sisi kanan dan kiri ditransformasikan dalam bentuk logaritma

$$\log(f_t - f_c) = \log(f_0 - f_c) - kt \log e \quad (6)$$

$$\log(f_t - f_c) = \log(f_0 - f_c) - kt \log e \quad (7)$$

$$-kt \log e = \log(f_t - f_c) - \log(f_0 - f_c) \quad (8)$$

$$t = -\frac{1}{k \log e} [\log(f_t - f_c) - \log(f_0 - f_c)] \quad (9)$$

$$t = -\frac{1}{k \log e} \log(f_t - f_c) + \frac{1}{k \log e} \log(f_0 - f_c) \quad (10)$$

Persamaan (10) diubah dalam bentuk linear (persamaan 11)

$$y = mx + c \quad (11)$$

$$y = t \quad (12)$$

$$m = -\left(\frac{1}{k \log e}\right) \quad (13)$$

$$x = \log(f_t - f_c) \quad (14)$$

$c =$ konstanta

Sehingga nilai k dari persamaan (13)

$$k = -\frac{1}{m \log e} \quad (15)$$

dengan:

f_t = kapasitas infiltrasi pada saat t (mm/jam)

f_0 = kapasitas infiltrasi pada saat awal (mm/jam)

f_c = kapasitas infiltrasi konstan, yang tergantung pada tipe tanah
(mm/jam)

e = 2,71828

t = waktu

k = konstanta yang menunjukkan laju penguapan kapasitas infiltrasi

m = gradien garis dari regresi linear grafik hubungan $\ln(f_t - f_c)$ dengan waktu

Konstanta k merupakan fungsi tekstur permukaan. Jika pada permukaan ada tanaman maka nilai k kecil, sebaliknya jika tekstur permukaan halus seperti tanah gundul maka nilai k tersebut besar. Parameter f_0 dan f_c adalah fungsi jenis tanah dan tutupan. Untuk tanah berpasir atau berkerikil nilai tersebut tinggi sedangkan tanah berlempung yang gundul nilainya kecil dan apabila permukaan tanah ada rumputnya nilainya bertambah.

Metode Horton memiliki beberapa kelebihan yaitu :

- a. Dapat dilakukan dengan program *spreadsheet* sederhana, hanya berdasarkan data-data yang tersedia.
- b. Pengukuran infiltrasi yang dilakukan dengan infiltrometer pada model Horton akan menghasilkan akurasi data yang relatif lebih tinggi. Hal ini dikarenakan selama pengukuran infiltrasi dengan ring infiltrometer,

selalu dapat lapisan air dengan ketinggian konstan pada permukaan tanah. Adanya tekanan lapisan air tersebut akan menambah kecepatan laju infiltrasi.

Namun demikian juga terdapat kelemahan metode Horton yaitu: Penentuan parameter f_0 , f_c , dan k dan ditentukan dengan *data-fitting*. Secara teori f_c , konstan untuk suatu jenis dan lokasi tanah tertentu, tetapi akan bervariasi pada setiap intensitas hujan yang tidak sama. Penjelasan model ini sangat simpel dan lebih cocok untuk data percobaan. Untuk teori Horton sendiri secara garis besar mengemukakan laju infiltrasi dengan bertambahnya waktu akan konstan seiring dengan kemampuan daya serap tanah.

Hubungan f_0 , f_c dan k dengan sifat-sifat dari daerah alirannya. Hasil yang di dapat tidak cukup akurat. Model ini sangat simpel dan lebih cocok untuk data percobaan.

c. Metode Holtan

Metode Holtan pada dasarnya serupa dengan metode Horton, akan tetapi pada model ini, Holtan menambahkan faktor vegetasi dalam persamaan sehingga fungsi matematikanya berubah menjadi fungsi power dan bukan fungsi eksponensial seperti pada metode Horton.

Rumus yang diturunkan berbentuk sebagai berikut:

a. Metode Horton

$$(f_p - f_c) = (f_0 - f_c) e^{-Kt} \quad (16)$$

b. Metode Holtan

$$fp - fc = kF_p^n \quad (17)$$

$$fp - fc = k\left(\frac{fp - fc}{k}\right)^n \quad (18)$$

$$fp - fc = k \times k^{-n} (fp - fc)^n \quad (19)$$

$$fp - fc = k^{(1-n)} (fp - fc)^n \quad (20)$$

$$fp - fc^{(1-n)} = k^{(1-n)} \quad (21)$$

$$fp - fc = k \quad (22)$$

dengan $n = 1,387$

keterangan:

f_p = Kapasitas infiltrasi pada saat ke t (mm/jam)

f_0 = kapasitas infiltrasi awal (mm/jam)

f_c = kapasitas infiltrasi konstan, yang tergantung pada tipe tanah (mm/jam)

k = Konstanta yang menunjukkan laju pengurangan kapasitas infiltrasi

t = waktu (jam)

n = Ketetapan = 1,387

d. Metode Kostiakov

Model Kostiakov menggunakan pendekatan fungsi power dengan tidak memasukkan kadar air awal dan kadar air akhir (saat laju infiltrasi konstan) tetapi sebagai komponen fungsi. Fungsi infiltrasi dan laju infiltrasi yang disajikan pada rumus berikut:

$$f = B.t^n \quad (23)$$

keterangan:

B = Konstanta

t = waktu (jam)

n = Konstanta tanpa satuan

B. Akar Pohon Dan Proses Infiltrasi

Sebagaimana yang telah diuraikan sebelumnya bahwa salah satu faktor yang sangat menentukan infiltrasi air atmosfer ke dalam lapisan tanah adalah vegetasi. Disamping pengaruh berbagai faktor seperti karakteristik tanah yang cukup dominan, maka faktor vegetasi juga merupakan hal yang sangat memberi pengaruh pada proses infiltrasi.

1. Hubungan sifat-sifat akar pohon dengan infiltrasi

Menurut Eliasson dan Larsson (2006), bahwa ada dua karakteristik akar yang paling mempengaruhi proses infiltrasi, adalah parameter berat akar serabut (*fine root weight*) dan parameter panjang akar (*root length*). Penelitian yang mereka lakukan pada empat karakteristik lahan yang berbeda (hutan, semak belukar, perkebunan pohon, dan lahan pertanian), disimpulkan bahwa semakin berat dan semakin panjang akar serabut yang hidup pada suatu lahan, akan semakin tinggi infiltrasi pada lahan tersebut. Dari analisis korelasi yang dilakukan untuk tiga faktor pengaruh terhadap infiltrasi jenuh pada keempat lahan tersebut, dihasilkan nilai signifikansi yang terbaik adalah

korelasi antara faktor berat akar serabut terhadap infiltrasi jenuh (R-value = 0,66). Disusul dengan korelasi antara faktor panjang akar serabut terhadap infiltrasi jenuh (R-value = 0,43), dan nilai signifikansi terendah adalah korelasi antara faktor pori tanah terhadap infiltrasi jenuh (R-value = 0,37). Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa tingkat pengaruh tumbuh-tumbuhan lebih dominan dibandingkan dengan faktor pengaruh pori tanah, terhadap tingkat infiltrasi pada air atmosfer ke dalam lapisan tanah.

Selanjutnya menurut Hart (2017), bahwa ada tiga faktor yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan kontribusi akar terhadap infiltrasi, yakni :

- a. Spesies tanaman yang menjadi media peningkatan infiltrasi. Hal ini sangat penting karena pengakaran pada masing-masing spesies tanaman memiliki karakteristik tertentu.
- b. Karakteristik lingkungan alamiah, terutama karakteristik tanah dan air tanah (*soil water*). Faktor ini sangat menentukan dalam peningkatan infiltrasi, karena beberapa kondisi tanah yang bersifat menghambat pertumbuhan akar tanaman.
- c. Spesifikasi fasilitas, seperti ukuran fasilitas, harus dipertimbangkan sehubungan dengan bagaimana hal itu dapat mempengaruhi karakteristik kawasan. Misalnya, area fasilitas yang luas dengan daerah tangkapan air kecil dapat menyediakan air yang tidak cukup untuk pertumbuhan akar pepohonan.

Terkait dengan ketiga faktor tersebut, maka terdapat dukungan dari beberapa pendapat para peneliti sebelumnya, antara lain; (1) Wossink dan Hunt (2004), menyatakan bahwa manfaat kinerja dari tanaman melebihi biaya penanaman dan perawatan tumbuhan (pohon) yang dimanfaatkan sebagai infiltrator; (2) Selbig dan Balster (2010), menyarankan agar setidaknya tiga tahun pertumbuhan akar yang sehat ke lapisan bawah tanah, untuk mendapatkan akar yang dapat meningkatkan infiltrasi; (3) MacDonagh (2011), menyatakan bahwa karakteristik tanah yang lebih subur cenderung menghasilkan pertumbuhan akar lebih luas dan lebih besar. Selain itu, juga berpendapat bahwa sebagian besar kanopi pohon tidak boleh diarsir oleh bangunan sehingga memaksimalkan fotosintesis dan pertumbuhan pohon (MacDonagh 2015); (4) Foster dkk (2011), menyatakan bahwa penggunaan vegetasi dapat bernilai uang (*monetize*), apabila dilihat dari kontribusi tanaman terhadap kinerja infiltrasi; (5) Scharenbroch dkk (2016), menyatakan bahwa keberadaan vegetasi dapat meningkatkan konduktivitas hidrolik, infiltrasi, dan pengambilan polutan di dalam tanah dan air tanah; dan masih banyak lagi hasil penelitian yang memberikan justifikasi terhadap kontribusi positif dari akar pohon terhadap peningkatan infiltrasi (laju dan kapasitas).

2. Hubungan sifat-sifat tanah dengan infiltrasi

Pengaruh karakteristik tanah terutama pori tanah sangat mempengaruhi tingkat infiltrasi yang terjadi. Resapan air ke dalam lapisan tanah melalui pori-pori tanah, baik pada proses infiltrasi maupun dalam

proses perkolasi. Karakteristik pori tanah pada lapisan atas (*top layer*), sangat menentukan awal proses infiltrasi, dan hal ini akan mempengaruhi efektifitas infiltrasi ke dalam lapisan tanah di bawahnya.

Jing Zhang dkk (2017), telah melakukan pengamatan tentang pengaruh pemberian lapisan pasir pada lahan hutan, yang memberikan kesimpulan bahwa infiltrasi melalui lapis pasir di atas tanah hutan berperan sangat penting dalam konservasi sumber daya air dan pengambilan air oleh akar. Pemberian lapisan pasir yang bagus di atas permukaan tanah hutan untuk melindungi zona berpori makro (*macropores*), dan memastikan bahwa air akan menyusup ke permukaan tanah melalui lapisan pasir permukaan. Kemampuan infiltrasi yang lebih tinggi dari lapisan pasir daripada tanah dasarnya memastikan bahwa tingkat infiltrasi tanah yang terukur tidak dibatasi oleh pasir hanya sebagai lapisan penampungan. Pengukuran yang direplikasi penelitian ini pada lima lokasi yang plot dengan variabilitas rendah, menunjukkan bahwa tingkat laju infiltrasi berkisar antara 53 sampai 65 mm/jam. Sedangkan infiltrasi kumulatif berkisar antara 130 sampai 149 mm.

Menurut Jing Zhang dkk (2017), bahwa laju infiltrasi ke dalam lapisan tanah dapat diasumsikan sama dengan fluks air pada permukaan tanah, sehingga laju infiltrasi dapat diturunkan dari hukum Darcy, dimana menurut Jing Zhang dkk, (2017), bahwa infiltrasi ke tanah yang bersifat makropori dianggap sebagai aliran dua domain. Domain pertama adalah tanah, di mana air dikenai hisapan kapiler (*capillary suction*), dan infiltrasi ditangani dengan konsep sorpsivitas Philip. Domain kedua adalah sistem

makropori tanah, dimana air pada sistem ini bergerak hanya di bawah gravitasi (Weiler, 2005), dan bentuk alirannya mengikuti teori gelombang kinematik (Legout dkk, 2009). Hal ini membuktikan bahwa aliran preferensial dapat terjadi karena didorong oleh gravitasi (Germann dkk, 2007), dan hal ini tidak dapat dijelaskan oleh persamaan Richard atau Darcy dan model infiltrasi yang ada (Stumpp dan Maloszewski, 2010; De Vries dan Chow, 1978; Weiler, 2005). Oleh karena itu proses multidimensional, akan bergantung pada geometri celah (*cracks*), konduktivitas tanah, dan model dan lamanya pembasahan (Hillel, 1998; Edwards dkk, 1988; Bouma dkk, 1982).

Selain karakteristik pori tanah, faktor kepadatan relatif (R_c) cukup signifikan memberikan pengaruh terhadap tingkat infiltrasi yang terjadi. Leung dkk, (2014), melakukan penelitian yang bertujuan untuk menyelidiki, mengukur, dan membandingkan distribusi hisapan yang diinduksi rumput pada lahan pasir berlanau (*silty sand*), yang dipadatkan pada kepadatan yang berbeda dengan kepadatan yang dipengaruhi oleh pemampatan curah hujan buatan di laboratorium. Hasil penelitian mereka antara lain menyimpulkan bahwa rumput yang selama ini dikenal mereduksi infiltrasi curah hujan, penyebabnya adalah karena terjadinya pembuangan air hujan sebagai limpasan permukaan (*runoff*), sebagian besar akan mengalami penguapan (*evapotranspiration*), serta besarnya intersepsi dedaunan pada padang rumput.

Menurut Zhan dkk (2004), bahwa untuk memahami mekanisme infiltrasi, maka ada dua hal yang perlu dicermati dengan seksama, yaitu

karakteristik curah hujan dan sifat-sifat hidrolis di dalam tanah, dimana ada tiga parameter hidrolis tanah yang memerlukan pencermatan, yaitu: permeabilitas jenuh (k_s); koefisien penjenuhan (α); dan kapasitas penyimpanan air ($\theta_s - \theta_r$). Ketiga parameter tersebut akan menentukan respon dari tekanan air pori permukaan tanah, dan hal ini sangat menentukan mekanisme infiltrasi air permukaan ke dalam tanah.

Fenomena lain terjadi pada penelitian dengan menggunakan variabel kerapatan relatif tanah (D_r) dan variabel infiltrasi jenuh (F_c) diteliti oleh Gyami Shrestha dkk, (2016), yang dilakukan pada lahan reklamasi bekas areal tambang batu bara di Wyoming, Australia. Dilakukan korelasi antara tingkatan kerapatan relatif (D_r) yang diamati, nilai pengukuran tingkat infiltrasi jenuh (F_c) yang terjadi. Pada tanah reklamasi yang tidak dilewati truk dan alat berat (*undisturbed area*), dengan tingkat D_r sebesar 1,255 gram/cm³, menunjukkan tingkat infiltrasi jenuh (F_c) sebesar 9,208 mm/menit. Pada tanah reklamasi yang dilewati truck dan alat berat (*disturbed area*), dengan tingkat D_r sebesar 1,462 gram/cm³, menunjukkan tingkat infiltrasi jenuh (F_c) sebesar 6,958 mm/menit. Hal ini disebabkan karena ruang pori pada tanah yang memiliki kerapatan relatif yang lebih tinggi adalah lebih kecil, sehingga ruang gerak infiltrasi semakin berkurang.

Namun infiltrasi pada tanah asli (*natural area*), tidak dapat diperbandingkan dengan fenomena yang diuraikan di atas. Dimana dengan tingkat D_r sebesar 1,116 gram/cm³, menghasilkan tingkat infiltrasi jenuh (F_c) pada tanah asli di kawasan tambang tersebut adalah sebesar 6,042 mm/menit. Hal ini disebabkan karena pada permukaan tanah asli

terdapat semak belukar yang memberikan pengaruh terhadap infiltrasi, akibat adanya proses transpirasi dari vegetasi yang tumbuh pada lahan tanah asli (Gyami Shrestha dkk, 2016).

Faktor lain pada tanah yang juga menentukan tingkat infiltrasi adalah ketebalan lapisan infiltrasi. Hasil penelitian W. Allan McGinty (1979), bahwa semakin tebal lapisan infiltrasi, akan semakin tinggi pula tingkat infiltrasinya, baik untuk laju infiltrasi maupun kapasitas infiltrasi pada tanah.

3. Hubungan karakteristik hujan dengan infiltrasi

Karakteristik hujan yang berkorelasi kuat dengan tingkat infiltrasi adalah intensitas curah hujan (*rainfall intensity*). Menurut Edwin F.G.A., dkk (2011), bahwa semakin tinggi permeabilitas kejenuhan air, maka akan semakin kecil tekanan air pori yang terbentuk di permukaan tanah. Hal ini disebabkan karena apabila intensitas curah hujan lebih besar dari pada permeabilitas tanah, maka tekanan air pori pada permukaan tanah mencapai nilai sama dengan nol. Sebaliknya, ketika intensitas curah hujan lebih kecil daripada permeabilitas tanah, maka permukaan tanah akan tetap tidak jenuh (tekanan air pori negatif), sehingga tingkat infiltrasi tinggi.

Dari analisis yang dilakukan dengan metode deformasi elasto-viscoplastic pada lereng tanah, Edwin F.G.A., dkk, (2011) menemukan bahwa terlepas dari permeabilitas jenuh dari kemiringan tanah, kenaikan tekanan air pori (pengurangan hisap) selama infiltrasi curah hujan terlokalisasi mendekati permukaan lereng. Selain itu, pembentukan

tekanan air pori dan perpindahan lateral terutama dikendalikan oleh rasio intensitas curah hujan terhadap permeabilitas jenuh tanah. Deformasi yang dihitung dikaitkan dengan perubahan volume tanah akibat proses saturasi yang meningkat selama infiltrasi curah hujan. Rasio intensitas curah hujan terhadap permeabilitas air jenuh, adalah sifat mendasar dalam bentuk respon deformasi tanah tak jenuh yang terkena infiltrasi curah hujan.

Selanjutnya untuk memperlihatkan pengaruh intensitas hujan secara bersama-sama dengan pengaruh kerapatan vegetasi penutup terhadap infiltrasi, oleh Dunne dkk (1979), memberikan model matematis yang mereproduksi hubungan simpel yang menekankan efek kuat dari kerapatan tutupan vegetasi dan intensitas curah hujan terhadap kapasitas infiltrasi yang nyata, seperti yang dirumuskan berikut :

1) Jika : $K_{min} < I < K_{max}$, maka :

$$fc = K_{min}(1 - C) + I \cdot C \quad (24)$$

2) Jika : $I > K_{max}$, maka :

$$fc = K_{min}(1 - C) + K_{max} \cdot C \quad (25)$$

dimana :

I = intensitas curah hujan;

K_{min} = konduktivitas jenuh (minimum) rumput vegetasi;

K_{max} = konduktivitas maksimum pada rumput vegetasi;

C = kerapatan tutupan vegetasi fraksional;

fc = kapasitas infiltrasi nyata.

Jia dkk (2009), menyatakan bahwa pola curah hujan (*rainfall pattern*) sangat mempengaruhi proses infiltrasi yang terjadi di permukaan tanah. Jia dkk, melakukan penelitian dengan enam pola (*pattern*) curah hujan dengan variasi penempatan puncak curah hujan pada waktu yang berbeda, yakni mulai dari puncak di waktu awal hujan, di waktu tengah sampai puncak di akhir hujan. Hasil penelitian mereka menyimpulkan bahwa pola hujan dengan puncak curah hujan di waktu awal akan memberikan kapasitas infiltrasi (f_c) dan infiltrasi kumulatif (f_k) yang paling besar. Sedangkan pola hujan dengan puncak curah hujan di waktu akhir akan memberikan kapasitas infiltrasi (f_c) dan infiltrasi kumulatif (f_k) yang paling kecil. Hal ini disebabkan karena pada pola hujan dengan puncak curah hujan di waktu awal hujan, akan memungkinkan permukaan tanah bisa menyerap lebih banyak air selama periode curah hujan.

4. Mekanisme infiltrasi melalui media akar pohon

Sudah banyak peneliti sebelumnya yang menemukan bahwa pohon secara signifikan meningkatkan infiltrasi air permukaan ke dalam tanah, antara lain :

- a. Wondzell dan King (2003), menyatakan bahwa tingkat infiltrasi sebelum dan sesudah deforestasi atau kebakaran hutan menemukan penurunan tingkat infiltrasi setelah pohon-pohon tersebut hilang.
- b. Chandler dan Chappell (2008), menemukan bahwa konduktivitas hidrolik median dan mean jenuh pada titik 3 m dari batang pohon Oak,

masing-masing adalah sebesar 2,3 dan 3,4 kali lebih besar dari pada padang rumput di sekitarnya yang tanpa pohon.

- c. Hatt dkk (2009), mendokumentasikan hasil penelitiannya bahwa vegetasi mempertahankan konduktivitas hidrolik jenuh yang cukup lama dari waktu ke waktu di daerah bioretensi.
- d. Bartens dkk (2009), menemukan bahwa akar pohon mempengaruhi konduktivitas hidrolik tanah bahkan pada pohon muda, dan menyimpulkan bahwa akar kayu dapat meningkatkan infiltrasi relatif cepat sebelum akar berdiameter besar, karena nampaknya ada kecenderungan bahwa air banyak bergerak di sekitar saluran akar di sepanjang akar serabut.
- e. Gonzalez-Sosa dkk (2010), menemukan konduktivitas hidrolik jenuh yang lebih tinggi di daerah hutan berdaun lebar dan hutan kecil dari pada di padang rumput permanen dan lahan pertanian.
- f. Lucas dan Greenway (2011), secara khusus membandingkan tingkat infiltrasi tak jenuh dari profil tanah model pada wadah di atas tanah dengan pepohonan sampai wadah tanpa pohon dan menemukan bahwa pohon dengan tingkat infiltrasi yang lebih tinggi. Ini memberitahu kita bahwa bahkan pada usia yang sangat muda, pohon-pohon itu sudah memiliki efek positif pada konduktivitas hidrolik.
- g. Skorobogatov dkk (2013), membandingkan konduktivitas hidrolik jenuh pada penanaman vegetasi kayu seperti *shelterbelts*, pengelompokkan pohon di taman kota, dan barisan pohon di lapangan

golf, dengan tanah dan topografi serupa, ke daerah sekitarnya tanpa pohon, dan menemukan bahwa pohon memiliki dampak yang jauh lebih besar pada permeabilitas tanah dibandingkan rumput tanpa pohon.

Dan juga beberapa hasil dari peneliti lain yang telah membuktikan bahwa pohon sangat berperan dalam proses infiltrasi air ke dalam tanah. Hal yang masih jarang ditemukan adalah penjelasan tentang bagaimana pohon dapat meningkatkan infiltrasi tersebut.

Dalam tulisan Chandler dan Chappell (2008), dijelaskan bahwa akar yang hidup dan yang melapuk menciptakan jaringan saluran yang terhubung dengan baik dalam tanah yang disebut makropori (*macropores*). Aliran melalui makropori ini bisa sampai beberapa ratus kali lebih cepat daripada mengalir melalui matriks tanah (Buttle and House 1997). Selain itu, bahan organik dari sisa pembusukan daun dan akar pohon memperbaiki struktur tanah, yang dapat meningkatkan tingkat infiltrasi. Struktur tanah diperbaiki karena partikel tanah diemulsi bersama oleh humus, oleh perekat organik yang dibuat oleh jamur dan bakteri yang membusukkan bahan organik, dan oleh polimer dan gula yang diekskresikan dari akar.

Daerah (lahan) dengan tumbuhan pepohonan umumnya memiliki tingkat infiltrasi yang lebih besar daripada padang rumput tanpa pohon, karena pohon menciptakan mikropori (*makropores*) yang lebih stabil. Akar tanaman dikotil (*dicotyledonous*), seperti kebanyakan pohon, tumbuh

dalam ketebalan (pertumbuhan sekunder) serta memanjang (pertumbuhan primer). Akar tanaman monokotil, yang meliputi rerumputan, biasanya tidak menunjukkan pertumbuhan sekunder, sehingga makropori mereka lebih rentan terhadap keruntuhan dibandingkan pada tanaman dikotil yang mampu membentuk makropori melalui pertumbuhan penebalan pada akarnya. Selain itu, akar pada tanaman berkayu memiliki lapisan kulit yang selanjutnya akan meningkatkan stabilitas makropori setelah terjadi peluruhan pada akar tersebut.

Dari uraian di atas, jelaslah bahwa mekanisme infiltrasi melalui media akar pohon, dimungkinkan karena karakteristik khusus dari akar pohon yang mampu bertumbuh primer (memanjang) dan sekunder (menebal), sehingga dapat menciptakan makropori di dalam lapisan tanah, yang akan menjadi ruang pengaliran (*stormwater*) air permukaan ke dalam lapisan tanah. Ruang makropori tersebut cukup stabil untuk mempertahankan tingkat infiltrasi yang memadai sehingga sistem imbuhanannya dapat berfungsi dengan baik.

C. Beberapa Alternative Untuk Meningkatkan Infiltrasi

1. Pengelolaan Hujan Berwawasan Lingkungan

Pengelolaan air hujan berwawasan lingkungan telah banyak diperkenalkan di berbagai Negara. Imbe (2013) *Executive Director Association for Rainwater Storage and Infiltration Tecnology (ARSIT)*, memaparkan beberpa sistim drainase berwawasan lingkungan yang disebut "*well-balaced hydrological sistem*", yakni;

a. *Well-balanced hydrological sistem*

Well-balanced hydrological sistem ini dikenal di Jepang dengan program difokuskan pada beberapa aktifitas, yakni; (a) aplikasi sistim ini pada sub DAS, (b) *water-balanced* diantaranya; pengendali banjir, penggunaan air, dan perbaikan lingkungan air (*aqua-environment improvement*), serta (c) propaganda atau sosialisasi tentang sistim penampungan hujan dan fasilitas infiltrasi.

b. *Rainwater harvesting management (RHM)*

Sistim ini dikenal di Korea dengan fokus pada; (a) manajemen air hujan terintegrasi, (b) teknik ramah lingkungan dan (c) promosi tentang sistim penampungan hujan dan fasilitas infiltrasi.

c. *Best management practices (BMP)*

Sistim BMP ini dikenal di Amerika Serikat dengan fokus pada; (a) mencegah atau mengurangi polusi (b) pengembangan berdampak rendah, (c) proyek kualitas air dan (d) promosi tentang *wetland*, penampungan (*pond*), infiltrasi dan pemadatan berpori.

d. *Sustainable urban drainage sistem (SUDS)*

Sistim ini dikenal di Inggris dengan fokus pada; (a) desain terintegrasi antara jumlah, kualitas dan ramah lingkungan (*amenity*), (b) *site management for design, maintenance and education*, (c) permukaan lolos air, *filter strip and swales* dan fasilitas infiltrasi, serta (d) daerah pengaliran dan kolam tampungan.

e. *Water sensitive urban design (WSUD)*

Sistim WSUD ini dikenal di Australia dengan fokus pada; (a) manajemen sirkulasi air perkotaan, (b) pengendalian sumber air, (c) *rainwater reuse/rainwater tank*, (d) mengurangi aliran permukaan (*detention basin, infiltration sistem*), (e) konservasi air, (f) *redirecting flow (pipe, drain and channel)*, dan (g) perbaikan kualitas air.

f. *Recharge sistem (Pro Water Mazhab)*

Sistem ini terus disosialisasikan di Indonesia dengan fokus; (a) pengenalan sistem lewat lembaga pendidikan dan instansi, (b). pendekatan penerapan, (c) mengurangi aliran permukaan (*infiltration sistem*), (d) perbaikan kualitas air, dan (e) sistem drainase pro air.

2. Kolam tampungan dan waduk resapan

a. Kolam Tampungan

Menurut Suripin (2004), secara nyata pengelolaan limpasan permukaan dilakukan dengan mengembangkan fasilitas pengendali atau penahan limpasan. Berdasarkan fungsinya, fasilitas pengendali atau penahan limpasan dapat dikelompokkan atas dua jenis, yaitu jenis penyimpan (*storage types*) dan jenis peresapan (*infiltration types*). Jenis penyimpan berdasarkan lokasinya dapat dibedakan atas penyimpanan di luar lokasi (*off-site storage*) dan penyimpan di dalam lokasi (*on-site storage*). Penyimpan jenis *on-site storage* digunakan jika air hujan yang

jatuh dikawasan sendiri tidak dibuang ke saluran luar sebagai akibat ketidakmampuan kinerja saluran luar. Fasilitas seperti kolam tampungan atau kolam parkir banjir (*retarding pond*) dan kolam regulasi (*regulation pond*) merupakan contoh dari *storage types*.

Pemanfaatan jenis resapan (*infiltration types*) digunakan pada daerah yang memiliki tingkat permeabilitas tinggi dan secara teknik pengisian air tanah tidak mengganggu stabilitas geologi. Parit resapan, sumur resapan, kolam resapan serta perkerasan resapan merupakan contoh dari fasilitas jenis resapan. Prinsip jenis resapan adalah untuk mengurangi air permukaan (*runoff*) dan memperlama waktu tinggal air di dalam tanah, sehingga jumlah air yang melimpah dan resiko banjir berkurang serta sekaligus meningkatkan ketersediaan air tanah. Beberapa faktor yang mempengaruhi dimensi kolam tampungan dan sumur resapan untuk suatu lahan sangat bergantung pada beberapa faktor (Suripin, 2004):

- 1) Luas permukaan penutupan, yaitu lahan yang limpasannya akan ditampung dalam kolam atau sumur resapan.
- 2) Karakteristik hujan, meliputi intensitas hujan, lama hujan, dan selang waktu hujan. Secara umum dapat dikatakan bahwa makin tinggi hujan, makin lama berlangsungnya hujan sehingga memerlukan volume tampungan yang makin besar. Sementara selang waktu hujan yang besar dapat mengurangi ukuran volume sumur yang diperlukan.

- 3) Permeabilitas tanah, yaitu kemampuan tanah untuk melewatkan air persatuan waktu. Tanah berpasir memiliki permeabilitas yang lebih tinggi dibandingkan tanah lempung.
- 4) Tinggi muka air tanah. Pada dasarnya untuk kondisi lahan dimana muka air tanah adalah dangkal, pembuatan sumur resapan dangkal kurang efektif atau dengan kata lain guna meresapkan air perlu dibuat sumur resapan dalam.

b. Waduk Resapan dan Fungsi Waduk Resapan

Menurut Sulinda (2004) dalam Aziz (2014), Filosofi dasar dalam pengembangan waduk resapan adalah bagaimana memperkecil limpasan permukaan dan meningkatkan kemampuan tanah dalam meresapkan aliran permukaan. Maksud pembuatan waduk resapan ini hampir sama dengan sumur resapan. Perbedaan keduanya adalah terletak pada luasan dan tujuan, dalam hal mana waduk resapan dibangun dengan luasan yang lebih luas dari pada sumur resapan, sehingga dapat menambah cadangan air tanah dalam volume besar dan sekaligus sebagai pengendali banjir, sementara sumur resapan bervolume kecil dan tidak efektif dalam fungsi pengendalian banjir.

Perdetti dkk (2010) dalam Azis (2014), mengatakan bahwa teknik pengaturan lahan, penerapan tindakan dan teknik konservasi tanah berupa sumur resapan dan waduk resapan berupaya mengendalikan banjir dengan cara menurunkan limpasan serta meningkatkan infiltrasi dan

perkolasi. Dengan demikian air hujan yang berpotensi mendatangkan limpasan permukaan dapat diturunkan dan sebagian besar mengisi akuifer di bawahnya.

Adapun kegunaan waduk resapan adalah (Aziz, 2014):

- a) Mengoptimalkan fungsi akuifer sehingga dapat menambah daya simpan air pada akuifer.
- b) Mengurangi aliran permukaan dan mencegah terjadinya genangan air sehingga memperkecil kemungkinan terjadinya banjir daerah hilir.
- c) Mempertahankan tinggi muka air tanah dan menambah cadangan air untuk kebutuhan di musim kemarau.
- d) Mengurangi atau menahan terjadinya intrusi air laut bagi daerah yang berdekatan dengan wilayah pantai.
- e) Mencegah penurunan atau amblasan tanah yang berlebihan
- f) Mengurangi konsentrasi pencemaran tanah

Hasil studi Kementerian Riset dan Teknologi yang dilakukan sejak tahun 2003, diketahui bahwa penerapan teknologi waduk resapan mampu mengatasi banjir dan kekeringan yang melanda Indonesia setiap tahun sebab tingkat peresapan waduk resapan cukup tinggi (Aziz, 2014).

c. Faktor pertimbangan dalam pembuatan waduk resapan

Ada beberapa faktor yang perlu menjadi pertimbangan dalam hal perencanaan waduk resapan (Azis, 2014) sebagai berikut:

1) Faktor iklim

Faktor iklim terutama masalah curah hujan merupakan salah satu faktor yang perlu diperhatikan. Semakin besar curah hujan suatu

wilayah, maka membutuhkan dimensi waduk resapan yang besar pula, hal ini dimaksudkan agar dapat menampung air sebanyak-banyaknya untuk diimbuhkan ke dalam tanah sekaligus mengurangi limpasan permukaan. Klasifikasi curah hujan menurut Kusnadi (2010) dalam Azis (2014) dapat dibedakan dalam tiga kelas yakni curah hujan rendah (< 1.500 mm/tahun), curah hujan sedang ($1500 - 2500$ mm/tahun), dan curah hujan tinggi (> 2.500 mm/tahun).

2) Faktor ketersediaan air permukaan

Air permukaan yang berasal dari sungai harus tersedia secara terus menerus khususnya pada musim kemarau, jika fungsi waduk diperuntukkan untuk meresapkan air ke dalam tanah, maka suplai air ke waduk tidak boleh terhenti kecuali pada masa pemeliharaan, jika tidak demikian maka waduk akan menjadi kering.

3) Faktor kondisi permukaan air tanah

Pada kondisi permukaan air tanah dalam, waduk resapan sangat perlu dibuat agar dapat mengisi lapisan akuifer. Namun sebaliknya pada kondisi air tanah dangkal, pembuatan waduk resapan kurang efektif karena hanya berfungsi sebagai tandon air saja.

4) Faktor kondisi sifat fisik tanah

Sifat fisik tanah sangat berpengaruh pada besar kecilnya daya resap tanah terhadap air hujan maupun air permukaan. Tanah yang porous ataupun berpasir yang memiliki permeabilitas yang besar akan mampu melakukan imbuhan yang besar dan cepat.

5) Pemeliharaan

Waduk resapan sangat rentan terhadap penyumbatan akibat pori-pori pasir tertutup oleh sedimen halus. Oleh karenanya bangunan pelengkap berupa kolam endapan sedimentasi harus senantiasa bersih dari endapan sedimen, bahkan dalam waktu tertentu harus dilakukan penggantian material pasir yang bersih (Anugrah, 2006 dalam Azis 2014).

D. Pengembangan Model Fisik Penggunaan Akar Pohon Untuk Meningkatkan Laju Dan Kapasitas Infiltrasi

Pada penelitian ini, akar pohon difungsikan sebagai media untuk membuat pori untuk peresapan (*recharge*). Model penelitian ini akan difokuskan pada pengamatan pada beberapa variasi kerapatan akar pohon. Media akar yang digunakan adalah akar pohon pucuk merah (*Oleyna Syzygium*). Pada area penanaman pohon dalam meja sampel dibuat dinding penahan setinggi 30 mm sehingga membentuk genangan sebelum terjadi aliran permukaan (*runoff*). Dalam penelitian ini akan diamati pengaruh akar pohon dalam meresapkan air akibat intensitas curah hujan. Sebagai bahan pembanding maka terlebih dahulu dilakukan pengamatan infiltrasi pada sampel tanah tanpa menggunakan akar pohon dengan menggunakan sampel tanah yang memiliki karakteristik yang sama.

E. Penelitian Terdahulu yang Terkait

Beberapa penelitian tentang kinerja akar pohon dalam meningkatkan kapasitas infiltrasi sebagai berikut:

Yudianto dan Roy (2009) melakukan penelitian model kolam retensi dan sumur resapan pada sistim drainase kawasan padat penduduk di sisi barat kota Bandung. Hasil analisisnya menunjukkan bahwa kombinasi pemanfaatan kolam retensi dengan dimensi (70 x 20 x 1,5) m dan sumur resapan dengan jari-jari 1,25 m dan kedalaman 10,00 m dapat meresapkan air ke dalam lapisan akuifer sebesar 0,007 m³/dt.

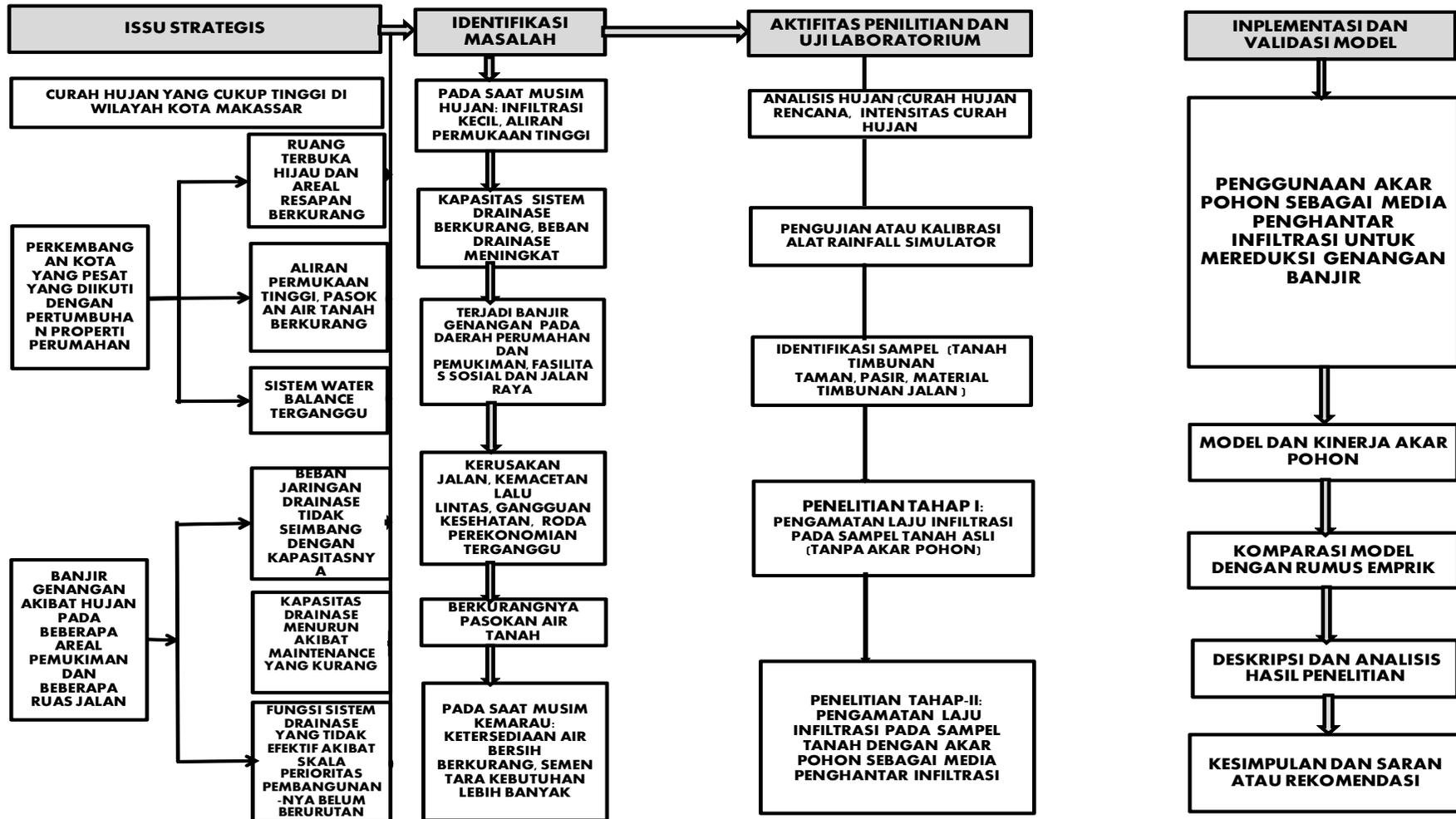
Aziz (2014) melakukan penelitian eksperimental penggunaan kolom pasir pada waduk resapan. Penelitian ini antara lain bertujuan untuk mengetahui beda tinggi energi, tebal lapisan kolom pasir, tinggi air waduk dan kerapatan kolom pasir terhadap besarnya debit yang masuk ke dalam akuifer serta menganalisis kinerja kolom pasir. Hasil penelitiannya menunjukkan terjadi peningkatan rata-rata, masing-masing pengaruh bertambahnya beda tinggi energi sebesar 23,14 %, tinggi air waduk sebesar 13,46 % dan kerapatan kolom pasir sebesar 745, 03 %.

Bartens dkk (2009) meneliti pengembangan peran akar pada tanaman kota dengan mengombinasikan dengan struktur tanah berongga berupa reservoir hujan di bawah trotoar. Mereka menggunakan pohon Ek hitam (*quercus velutina Lam.*) dan maple merah (*acer rubrum L.*) yang ditanam dalam wadah yang dibuat berpori dan diisi dengan tanah liat. Bartens dkk menyimpulkan sistem ini layak dilakukuan untuk mereduksi

limpasan yang mengintegrasikan fungsi ruang hijau perkotaan dengan kebutuhan perkotaan lainnya.

Lange dkk (2009) dalam penelitiannya yang dilakukan di daerah utara pegunungan Alpen di Swiss menganalisis hubungan antara distribusi akar dari pohon cemara Norwegia (*Picea abies* (L.) Karst), cemara perak (*Abies alba* Miller), dan beech Eropa (*Fagus sylvatica*). Peneliti memodelkan gelombang kandungan air berdasarkan kerapatan akar dan mengidentifikasi berbagai kepadatan akar yang menyebabkan peningkatan volume fluks maksimum dan kapasitas infiltrasi. Temuan ini memberikan bukti yang meyakinkan bahwa akar pohon pada tanah stagnan mewakili sistem pori yang meningkatkan infiltrasi.

Zadeh dan Sepaskah (2016) meneliti pengaruh akar pohon terhadap laju infiltrasi ke dalam tanah. Penelitian dilakukan pada tiga areal perkebunan dengan tekstur tanah yang berbeda, yakni; lempung tanah liat untuk tanaman pir, padang pasir untuk perkebunan anggur, dan pasir berlemak untuk pohon pinus. Penelitian ini menggunakan *double ring infiltrometer*. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa semua model akurat sesuai dengan nilai yang terukur. Tingkat infiltrasi di bawah pohon lebih tinggi daripada infiltrasi di antara pepohonan, yang diakibatkan oleh adanya akar yang meningkatkan laju infiltrasi ke dalam tanah. Dalam waktu pengamatan 180 menit terjadi peningkatan 69% pada pasir liat (*loamy sand*) dan 354% pada lempung liat (*clay loam*) di bawah pohon, masing-masing dibandingkan dengan pengamatan pada antara pepohonan.



Gambar 5. Kerangka Pikir

Tabel 1. Perbandingan dengan penelitian terdahulu

Nomor	Peneliti/Judul	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
1.	Wossink, A., and B. Hunt. 2004. <i>The evaluation of cost and benefits of structural stormwater best management practices in North Carolina, Published by North Carolina Cooperative Extension Service</i>	Menyatakan bahwa manfaat kinerja dari tanaman melebihi biaya penanaman dan perawatan tumbuhan (pohon) yang dimanfaatkan sebagai infiltrator	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menggunakan media akar 2. Meneiliti kinerja akar menghantar infiltrasi 3. Akar memiliki peran signifikan meningkatkan kapasitas infiltrasi 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dilakukan di lapangan (Field Study) 2. Menghitung nilai ekonomi 3. Menggunakan akar hidup 4. Tidak menampilkan formula baru
2.	Eliasson Sonja & Larsson Martin. 2006. <i>The Influence of Land-Use Change, Root Abundance and Macropores on Saturated Infiltration Rate (A Field Study on Western Java, Indonesia).</i>	<p>Menyatakan bahwa :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. semakin berat dan semakin panjang akar serabut yang hidup pada suatu lahan, akan semakin tinggi infiltrasi pada lahan tersebut. 2. Hasil penelitian ini juga menunjukan bahwa tingkat pengaruh tumbuh-tumbuhan lebih dominan 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menggunakan media akar 2. Mengukur panjang akar 3. Meneliti kinerja akar 4. Akar memiliki peran signifikan meningkatkan kapasitas infiltrasi 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Field study 2. Menggunakan akar hidup 3. Tidak menampilkan formula baru

- dibandingkan dengan faktor pengaruh pori tanah, terhadap tingkat infiltrasi pada air atmosfer ke dalam lapisan tanah.
3. **Chandler Kathy R., and Chappell Nick A. 2008** / *Influence of individual oak (Quercus robur) trees on saturated hydraulic conductivity.*
 1. Konduktivitas hidrolis median dan mean jenuh pada titik 3 m dari batang pohon Oak, masing-masing adalah sebesar 2,3 dan 3,4 kali lebih besar dari pada padang rumput di sekitarnya yang tanpa pohon.
 2. Akar yang hidup dan yang membusuk menciptakan jaringan saluran yang terhubung dengan baik di tanah
 1. Menggunakan akar
 2. Meneliti kinerja akar
 3. Akar memiliki peran signifikan meningkatkan kapasitas infiltrasi
 1. Field study
 2. Meneliti konduktivitas hidrolis
 3. Menggunakan akar Oak
 4. Meneliti dua kondisi akar (hidup dan melapuk)
 5. Tidak menampilkan formula baru
 4. **Bartens, J., Day, S. D., Harris, J. R., Wynn, T. M., and J. E. Dove. 2009** / *Transpiration and root development of urban trees in structural soil stormwater*
 1. Menyimpulkan bahwa; akar kayu dapat meningkatkan infiltrasi relatif cepat sebelum akar berdiameter besar dan cenderung kapasitas akar minimal; ada
 1. Meneliti kinerja akar untuk meningkatkan infiltrasi
 1. Field study
 2. Media akar hidup (sedang mengalami pertumbuhan)
 3. Tidak menampilkan

	<i>reservoirs.</i>	kecenderungan bahwa air banyak bergerak di sekitar saluran akar di sepanjang akar serabut yang ada.		formula baru
5.	Scharenbroch, B. C., Morgenroth, J., and B. Maule. 2016 / <i>Tree species suitability to bioswales and impact on the urban water budget.</i>	Keberadaan vegetasi dapat meningkatkan konduktivitas hidrolis, infiltrasi, dan pengambilan polutan di dalam tanah dan air tanah	Peranan Vegetasi dalam peningkatan kapasitas infiltrasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Field Study 2. Meneliti konduktivitas hidrolis 3. Tidak menampilkan formula baru
6.	Hart Ted David. 2017 / <i>Root-enhanced Infiltration in Stormwater Bioretention Facilities in Portland, Oregon.</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Spesies tanaman yang menjadi media peningkatan infiltrasi 2. Karakteristik lingkungan alamiah, terutama karakteristik tanah dan air tanah (<i>soil water</i>). 	Fungsi tanaman dalam meningkatkan kapasitas infiltrasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Field Study 2. Tidak menampilkan formula baru

Tabel 2. Formula perhitungan laju/kapasitas infiltrasi

No	MODEL	FORMULA	NOTASI FORMULA	FAKTOR PENGARUH
1	DARCY-RICHARD (1931)	Pergerakan air dalam tanah : $v = -K(S) \cdot \Delta H$	<p>V = debit flux atau debit per satuan penampang (cm/jam)</p> <p>$K(S)$ = konduktivitas hidrolik yang dipengaruhi oleh S (cm/jam)</p> <p>S = hisapan matriks tanah (-cm H₂O)</p> <p>ΔH = gradien potensial (cm H₂O)</p> <p>H = potensial total (potensial hisapan matriks dan gravitasi) (-cm H₂O)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Intensitas hujan (undirect ; flux) 2. Angka pori, porositas, gradasi (undirect ; conduct) 3. Genangan (undirect ; potential gradient)
2	HORTON	Kapasitas Infiltrasi : $f = fc + (fo - fc)e^{-kt}$	<p>F = kapasitas infiltrasi (daya serap tanah) pada sembarang waktu,</p> <p>fo = kapasitas infiltrasi awal pada $t = 0$,</p> <p>fc = kapasitas infiltrasi setelah mencapai harga konstan,</p> <p>k = konstanta positif yang bergantung pada jenis tanah & tumbuhan penutup tanah.</p> <p>t = waktu,</p> <p>e = konstanta eksponensial</p> <p>Attn : Nilai k, yang difitting agar persamaan dapat menduga dengan tepat.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Intersepsi vegetasi ($k = 0,5-1,8$) 2. Varitas vegetasi (undirect; konstanta k) 3. Jenis tanah (undirect ; konstanta k) 4. Waktu (direct variable, t)

2	KOSTIYACOV	Kapasitas Infiltrasi : $F = at^b, 0 < b < 1$ Laju Infiltrasi : $f = k \cdot a \cdot t^{a-1}$	F = kapasitas infiltrasi a = konstanta b = konstanta t = waktu k adalah konstanta , a adalah konstanta, t adalah waktu Attn :Nilai k dan a yang difitting agar persamaan dapat menduga dengan tepat.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Angka pori, porositas, gradasi (undirect ; k) 2. Intensitas rainfall (undirect ; konstanta a) 3. Varitas vegetasi (undirect ; konstanta b) 4. Waktu (direct variabel,t)
3	PHILIP	Kapasitas Infiltrasi : $fp = C+D \cdot t^{0,5}$	fp = kapasitas infiltrasi (mm/menit) C,D = konstanta yang dipengaruhi oleh faktor lahan dan kadar air tanah awal t = waktu (menit)	<ol style="list-style-type: none"> 1. e, n, gradasi, vegetasi (undirect ; konstanta C) 2. Kadar air tanah (undirect konstanta D) 3. Waktu (direct variabel, t)
5	HOLTON – EVERTON	Kapasitas Infiltrasi : $F_{MAX} = F_C + A \cdot \left[\frac{P_{iv}}{T_p} \right]^P$	F_{MA} = kapasitas infiltrasi dengan permukaan tanah terendam air F_C = kapasitas infiltrasi akhir pada saat mencapai harga konstan A = kapasitas infiltrasi maksimum setelah F_C tercapai	<ol style="list-style-type: none"> 1. Volume pori (direct variabel, T_p) 2. Derajat kejenuhan (direct variabel, P_{iv}) 3. Laju infiltrasi (undirect; P)

			T_P = total volume ruang pori P_{iv} = volume air yang dapat disimpan sebelum jenuh P = koefisien non dimensional, merepresentasikan korelasi antara tingkat penurunan infiltrasi dengan peningkatan kelembaban tanah	4. Kelembaban tanah (undirect; P)
6	GREEN-AMPT	Potensi infiltrasi rerata (f) : $f = K \left[\frac{\psi \Delta \theta}{F + 1} \right]$ Waktu penggenangan (ponding time) : $tp = \frac{(K \cdot \psi \Delta \theta)}{\{i \cdot (i - K)\}}$	f = infiltrasi F = infiltrasi komulatif K = konduktivitas hidrolik $\rightarrow e, \eta, \text{Size, dll}$ Ψ = tekanan isap \rightarrow surface detention, intensity (i) $\Delta \theta$ = perubahan kelembaban \rightarrow kadar air (w) i = intensitas curah hujan	1. e, n, gradasi (undirect ; konstanta K) 2. Kadar air tanah (undirect ; $\Delta \theta$) 3. Intensitas, genangan (indirect ; tekanan isap, ψ)
7	Disertasi ABD. RAKHIM	$f_t = f_c + (f_0 - f_c)e^{C_{ARN}t}$ dimana nilai C : $C = c_1 kp + c_2 I + c_3 D + c_4 Ak$ c_1 = konstanta untuk kp = -1615.38 c_2 = konstanta untuk I = 0,0004299 c_3 = konstanta untuk D = -0,016 c_4 = konstanta untuk Ak = -0,035	F = kapasitas infiltrasi (mm/jam) D = kepadatan tanah (%) kp = koefisien permabilitas (cm/jam) t = waktu (jam) I = intensitas curah hujan (mm/jam) ak = kerapatan akar pohon	1. Intensitas curah hujan (I) 2. kepadatan tanah (kepadatan D) 3. jenis tanah (koefisien permabilitas k) 4. kerapatan akar (formasi kerapatan akar Ak)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Bentuk dan Jenis Penelitian

Bentuk penelitian ini adalah penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium. Menurut Nazir (1988), penelitian eksperimental yakni observasi di bawah kondisi buatan (*artificial condition*), dimana kondisi tersebut dibuat dan diatur oleh peneliti, yang dirancang dengan memberi perlakuan terhadap objek penelitian serta adanya kontrol, dengan tujuan menyelidiki ada tidaknya hubungan sebab akibat serta berapa besar hubungan sebab akibat tersebut dengan cara memberikan perlakuan-perlakuan tertentu pada beberapa kelompok eksperimen dan menyediakan kontrol untuk perbandingan. Selain eksperimental, penelitian ini juga merupakan penelitian pengembangan (*developmental research*) yakni penelitian yang dilakukan untuk pengembangan konsep dasar analisis infiltrasi dengan menggunakan *rainfall simulator*. Adapun jenis penelitian ini adalah analisis kuantitatif dengan proses pengumpulan data utama dilakukan melalui pengukuran dengan menggunakan alat yang objektif dan baku berupa *rainfall simulator*, serta didahului dengan pengumpulan data pendukung dengan proses-proses yang baku seperti pencatatan curah hujan yang diambil dari instansi yang berwenang dan analisis karakteristik tanah di laboratorium.

B. Rancangan Penelitian

Untuk memudahkan pengorganisasian penelitian, maka dilakukan rancangan penelitian yang meliputi; pengelompokan pengujian, penyiapan instrument penelitian dan data hujan acuan, persiapan material dan format pengamatan, kemudian dilakukan pengujian tahap pertama dan pengujian tahap kedua. Uraian tentang pengorganisasian tersebut disusun sebagai berikut.

1. Pengelompokan Pengujian

Pengujian dilakukan dengan dua kelompok utama, yakni (1) pengamatan laju infiltrasi pada sampel tanah asli (tanpa diberi akar sebagai media penghantar infiltrasi), dan (2) pengamatan laju infiltrasi pada sampel tanah yang diberi akar dengan variasi formasi kerapatan akar sebagai media penghantar infiltrasi. Kedua kelompok tersebut menggunakan variabel intensitas curah hujan, sehingga sebelum penelitian masing-masing kelompok dilakukan, terlebih dahulu dilakukan analisis intensitas curah hujan dengan tahapan analisis; curah hujan maksimum, curah hujan areal, dan curah hujan rancangan. Data curah hujan yang digunakan diambil dari beberapa stasiun di wilayah Makassar dan sekitarnya, yakni pada stasiun Tamangapa, Panakukang, Maros, dan Gowa. Sedangkan sampel tanah yang digunakan diambil berdasarkan karakteristik tanah yang diwakili oleh *gradasi* tanah dan *koefisien* permeabilitasnya. Sampel tanah diambil dari beberapa titik di daerah

Perumahan Minasa Upa, Pemukiman Jipang, Jl. Monumen Emmy Saellan, Jl. Tamalate, Jl. Tidung dan Lapangan Hertasning. Untuk mendapatkan data yang cukup *heterogen*, maka dipilih tiga sampel yang memiliki perbedaan karakteristik yang cukup dominan.

(a) Acuan data intensitas curah hujan rancangan (I)

Data curah hujan sebagaimana tersebut pada uraian sebelumnya dihitung dengan metode analisis frekwensi. Proses perhitungannya ditampilkan pada lampiran, dan berdasarkan hasil uji statistik maka metode yang memenuhi syarat untuk data yang tersedia yakni Metode Gumbel dan Log Pearson Type III untuk mendapatkan curah hujan rancangan, kemudian selanjutnya ditetapkan intensitas curah hujan rancangan dengan metode Mononobe. Oleh karena salah satu objek penelitian ini adalah mengkaji peningkatan kapasitas infiltrasi guna mengurangi *run off* yang berkaitan dengan fungsi drainase, maka intensitas curah hujan rancangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah yang lazim digunakan dalam perencanaan drainase kota yaitu I_5 , I_{10} , dan I_{25} . Dari hasil perhitungan Intensitas curah hujan tersebut didapatkan hasil yaitu $I_5 = 246,841$ mm/jam, $I_{10} = 290,335$ mm/jam, dan $I_{25} = 344,900$ mm/jam. Selanjutnya, hasil perhtungan ini dijadikan dasar untuk disimulasikan menjadi input data Intensitas curah hujan (I_t) pada *rainfall simulator*.

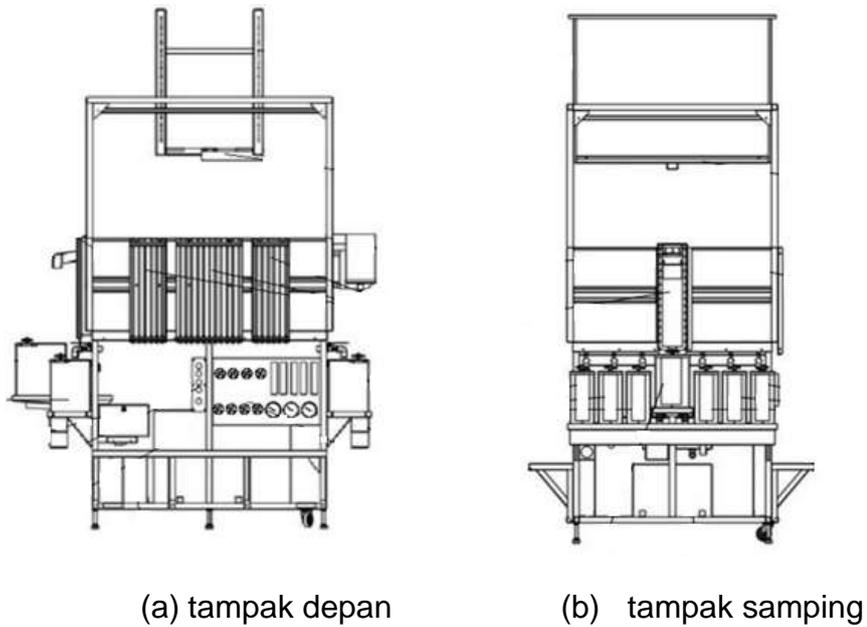
(b) Simulasi hujan (*rainfall simulation*)

Kegiatan simulasi intensitas curah hujan rencana untuk mendapatkan nilai yang sama atau mendekati nilai intensitas curah hujan rancangan yang telah dihitung pada tahap satu. Hasil simulasi tersebut digunakan sebagai variabel intensitas curah hujan pada tahapan berikutnya yaitu pengujian kapasitas infiltrasi dan aliran permukaan pada media sampel.

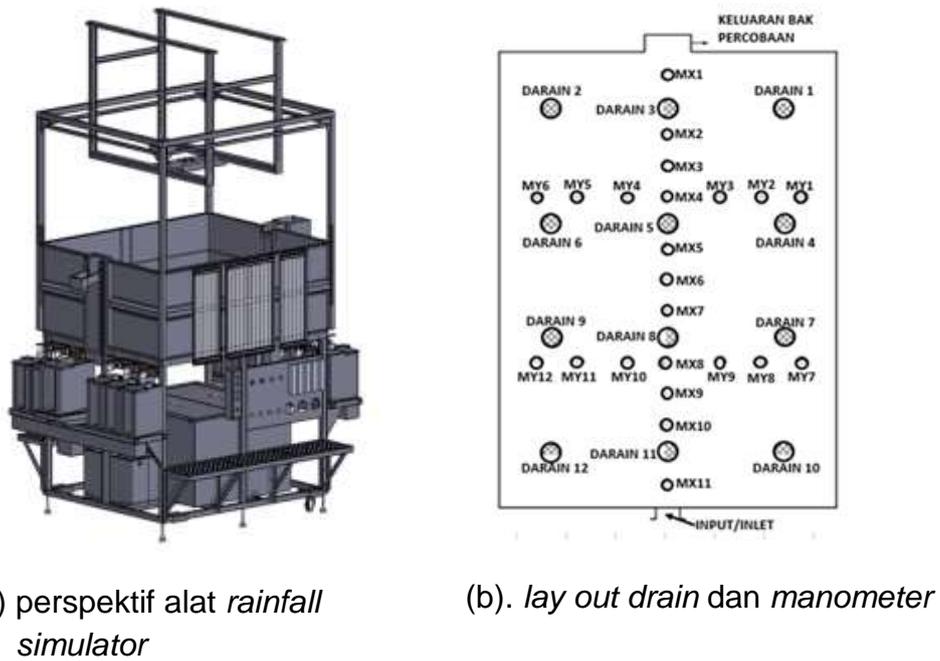
2. Persiapan Instrumen Penelitian dan Data Acuan Simulasi Hujan

a. *Rainfall simulator* dan wadah sampel

Rainfall simulator yang digunakan adalah jenis *basic hydrology system*, produksi dalam negeri yang dirancang berdasarkan standar pengukuran ilmiah dan kelengkapannya yang dibuat sesuai dengan kebutuhan penelitian ini. Kelengkapan komponen yang dibutuhkan, yakni: (1) *rainfall sprinkler* dengan lima buah *nozzle* bentuk persegi untuk menghasilkan pancaran hujan berformasi persegi. Intensitas hujan dapat diatur mulai dari hujan ringan sampai hujan badai, (2) *manometer* (untuk mengukur intensitas, tinggi air dalam tanah dan debit), (3) pengatur inlet (dari bak penampungan air menuju *system nozzle*, *system debit*, dan air tanah), (4) wadah atau bak sampel dengan ukuran 120 cm panjang, 100 cm lebar dan 50 cm tinggi, dilengkapi intake, pintu sorong, dan kran penyalur infiltrasi beserta tangki ukur, (5) komponen penunjang seperti tangki air dan pompa. Alat simulasi hujan tersebut ditunjukkan pada Gambar 6. (gambar detail ditunjukkan pada lampiran), dan format pengambilan data disajikan pada lampiran L-2



Gambar 6. Skema alat simulasi hujan (*rainfall simulator*) dan bak sampel



Gambar 7. Perspektif *rainfall simulator* serta *lay out drain* dan lubang *manometer*

Berdasarkan Standar untuk intensitas curah hujan pada sebuah simulator hujan buatan yang ditentukan oleh Departemen Pertahanan

Amerika Serikat (*United States Department of Defense (DOD) MIL-STD-810F.Method 506.4 standard*), maka standar intensitas curah hujan untuk *simulator* ini ditetapkan dalam beberapa kondisi hujan. Jadi dalam melakukan simulasi hujan buatan, mengikuti kriteria dan kondisi hujan yang terdapat pada standar tersebut yang ditampilkan pada Tabel 3 (Obus, 2016).

Tabel 3. Pembacaan *flowmeter* pada beberapa kondisi hujan pada *rainfall simulator*

<i>Rain Condition</i>	<i>Rain Fall Rate</i>	<i>Flow Rates</i>
<i>Extreme</i>	<i>More than : 14 mm/min 840 mm/hour 33,1 inchi/hour</i>	<i>More than : 16,8 l/min</i>
<i>High</i>	<i>8 mm/min - 14 mm/min 480 mm/hour - 840 mm/hour 18,9 inchi/hour - 33,1 inchi/hour</i>	<i>9,6 l/min - 16,8 l/min</i>
<i>Medium</i>	<i>1,7 mm/min - 8 mm/min 102 mm/hour - 480 mm/hour 4,0 inchi/hour - 18,9 inchi/hour</i>	<i>2,04 l/min - 9,6 l/min</i>
<i>Low</i>	<i>1,07 mm/min - 1,7 mm/min 64,2 mm/hour - 102 mm/hour 2,5 inchi/hour - 4,0 inchi/hour</i>	<i>1,28 l/min - 2,04 l/min</i>
<i>Very Low</i>	<i>0 mm/min - 1,07 mm/min 0 mm/hour - 64,2 mm/hour 0 inchi/hour - 2,5 inchi/hour</i>	<i>0 l/min - 1,28 l/min</i>

Sumber: Obus, 2016

b. *Hand bor* dan wadah sampel

Satu set *hand bor* dilengkapi dengan wadah pengambilan sampel berupa karung plastik dan tabung sampel, digunakan untuk mengambil sampel tanah pada beberapa lokasi yang telah ditentukan sebelumnya untuk selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk pengujian karakteristik tanah yang dibutuhkan dalam penelitian.

c. Alat analisis saringan

Alat ini berupa satu set peralatan analisis saringan untuk menentukan prosentase sampel tanah dalam jumlah yang cukup berdasarkan hasil *grain analysis* sebelumnya dari laboratorium.

d. Alat *sand cone test*

Alat ini digunakan untuk mengukur kepadatan sampel tanah sebelum dilakukan uji kapasitas infiltrasi. Pengambilan sampel untuk uji kepadatan dilakukan sebanyak empat kali, masing-masing uji kepadatan pertama sebelum *running test* pertama, demikian seterusnya hingga uji kepadatan keempat sebelum *running test* keempat.

e. Timbangan

Satu set timbangan dengan kapasitas 50 kg digunakan untuk menakar proporsi sampel tanah yang akan dimasukkan ke dalam meja sampel sebagai media pengamatan infiltrasi.

f. Oven

Disiapkan untuk digunakan sebagai alat pengering sampel tanah, dibuat dalam ukuran 1,20 m panjang, 1,20 m lebar dan 1,60 m tinggi dengan kapasitas pengeringan 0,5 m³. Alat ini dipersiapkan agar pengeringan sampel tanah tidak tergantung pada terik tidaknya matahari.

g. Alat pemadat sampel

Alat ini dibuat dengan bentuk segi empat berukuran 20 x 20 cm, dengan berat 5 kg, digunakan untuk melakukan pemadatan awal pada setiap sampel tanah sebelum dilakukan *running test* (uji laju infiltrasi), baik sampel tanah yang tidak diberi akar maupun yang diberi akar sebagai media penghantar infiltrasi. Pemadatan dengan menggunakan alat ini dan dilakukan dengan jumlah tumbukan dan tinggi jatuh yang sama, dimaksudkan untuk menyamakan derajat kepadatan awal dari tiga karakter sampel tanah yang telah ditetapkan.

h. Sekop

Alat ini digunakan untuk mempersiapkan sampel tanah, baik pada persiapan penghamparan, pengeringan, maupun pada saat memasukkan tanah ke dalam meja sampel pengamatan serta pengambilan kembali pada saat dilakukan penggantian sampel untuk pengujian selanjutnya.

i. Stop watch

Digunakan untuk mengukur waktu pengamatan infiltrasi dan run off baik saat hujan dijalankan maupun pada saat hujan dihentikan. Pencatatan laju infiltrasi dilakukan setiap lima menit hingga mencapai

keadaan konstan (untuk pengukuran selama hujan berlangsung), sedangkan sesudah hujan dihentikan tetap dilakukan pengukuran infiltrasi setiap interval waktu 5 menit sampai infiltrasi mencapai nol.

j. Kamera

Kamera digunakan untuk keperluan dokumentasi dan alat penunjang perekaman data. Untuk kegiatan yang bersifat gambar maka didokumentasikan dengan gambar/foto, sementara kegiatan penelitian yang membutuhkan perekaman maka dilakukan perekaman data/kegiatan.

k. Meteran, mistar dan jangka sorong

Meteran dan mistar dibutuhkan untuk mengukur ketebalan sampel tanah, kedalaman akar dan mengatur tinggi jatuh alat penumbuk kepadatan sampel tanah. Sedangkan jangka sorong dibutuhkan untuk mengukur diameter akar induk/tunggang dari tanaman yang akarnya dijadikan sampel pengamatan infiltrasi.

l. Alat tulis menulis

Alat tulis menulis berupa buku dan pena yang digunakan untuk mencatat secara manual aktifitas penyiapan penelitian dan data hasil amatan selama *running test* berlangsung.

m. Komputer desktop

Satu unit komputer desktop dan satu unit printer digunakan untuk menyimpan data secara permanen untuk selanjutnya dilakukan analisis terhadap data yang telah dihimpun untuk menjadi produk penelitian, selanjutnya dicetak untuk menjadi dokumen cetak (*hard copy*).

3. Persiapan Material dan Format Pengamatan

a. Pengambilan sampel tanah

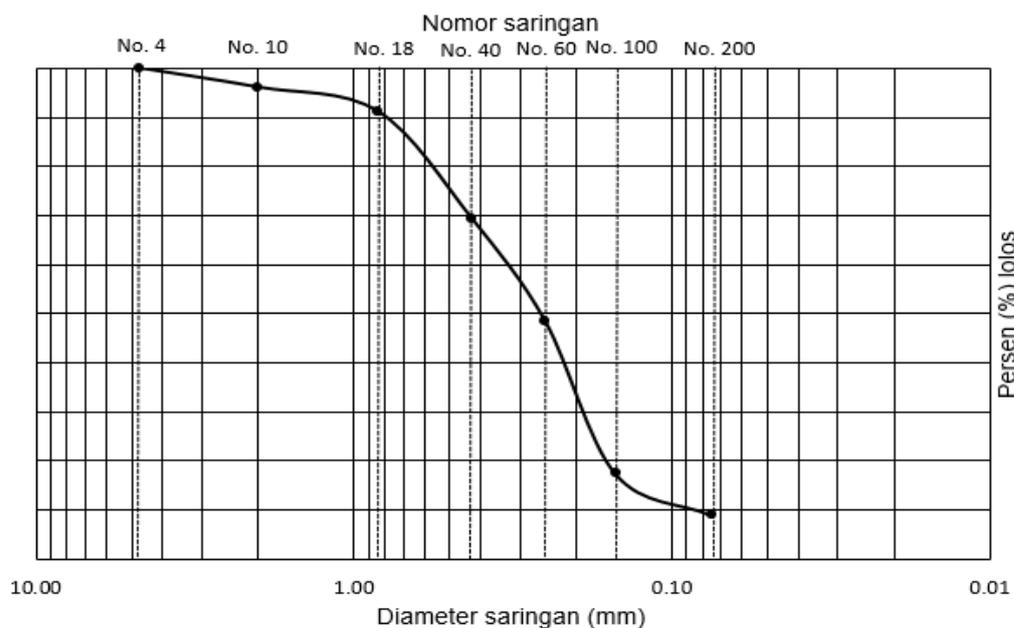
Pengambilan sampel dilakukan pada enam titik lokasi, yakni di daerah Minasa Upa, Jipang, Jl. Tamalate-2, Jl. Tamalate-3, Jl. Tidung dan di sekitar lapangan Hertasning Makassar, kemudian selanjutnya dilakukan analisis karakteristik di laboratorium.



Gambar 8. Pengambilan dan pengemasan sampel tanah

b. Pengujian material tanah

Pengujian material sampel tanah yang telah diambil dari lokasi selanjutnya dilakukan pengujian karakteristik di laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Pengujian tanah ini dilakukan dalam tiga bagian, bagian pertama adalah pengujian sampel tanah asli yang diambil dari lokasi yang telah ditetapkan yakni analisa saringan untuk memperoleh prosentase butiran yang akan dijadikan acuan untuk menentukan proporsi butiran sampel yang akan dimasukkan ke dalam wadah pengujian infiltrasi (Gambar 9).



Gambar 9. Contoh grafik hubungan antara diameter saringan dan prosentase kelulusan tanah (Lokasi Tidung-9)

Bagian kedua adalah pengujian yang dilakukan setelah penentuan prosentase gradasi yang akan digunakan, yakni pengujian koefisien permeabilitas sampel tanah, adapun data koefisien permeabilitas

berdasarkan hasil uji laboratorium yang dimaksudkan dicantumkan dalam Tabel 4.

Bagian ketiga adalah pengujian kepadatan tanah dengan *sand cone* setelah tanah dihamparkan ke dalam wadah sampel yang dilakukan sebanyak empat kali.

Tabel 4. Hasil uji permeabilitas sampel tanah

Nomor	Sampel Dari Lokasi	Koef. Permeabilitas, k (cm/detik)
01	Minasa Upa	0,000154
02	Jipang	0,000150
03	Tamalate-2	0,000140
04	Tamalate-3	0,000384
05	Tidung-9	0,000110
06	Hertasning	0,000160

Sumber: Hasil analisis laboratorium

Data kepadatan awal diambil satu kali, yakni pada saat sesudah dilakukan penumbukan/pemadatan sebelum *running* hujan pertama kali, dan pemadatan akibat terjadi pemampatan tanah setelah hujan yang dilakukan sebanyak tiga kali

c. Pemilihan dan penyiapan sampel akar tanaman

Tanaman yang dipilih untuk dijadikan akarnya sebagai media infiltrasi adalah tanaman pucuk merah (*oleina syzygium*). Ini dipilih karena bentuk akarnya cukup bagus dan kokoh sehingga tidak terjadi perubahan formasi

struktur akarnya jika dipindahkan ke dalam meja sampel. Selain itu ukuran pohon ini cukup proporsional untuk luas meja sampel dengan ukuran 100 x 120 cm, dengan usia pohon yang relatif tua tetapi masih memiliki diameter yang tidak terlalu besar. Untuk mengeliminasi pengaruh pengisapan akar terhadap air dan pengaruh transpirasi, maka sebelum pohon dipasang maka daunnya dicukur terlebih dahulu, serta tanah bawaan dari pembibitan dibuka sehingga tidak terjadi perbedaan kepadatan dengan sampel tanah di dalam meja sampel.



(a). Penyiapan sampel pohon



(b). Pelepasan daun



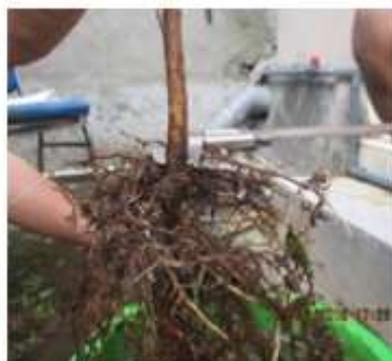
(c). Pengukuran radius akar



(d). Pembersihan akar dari tanah pembibitan



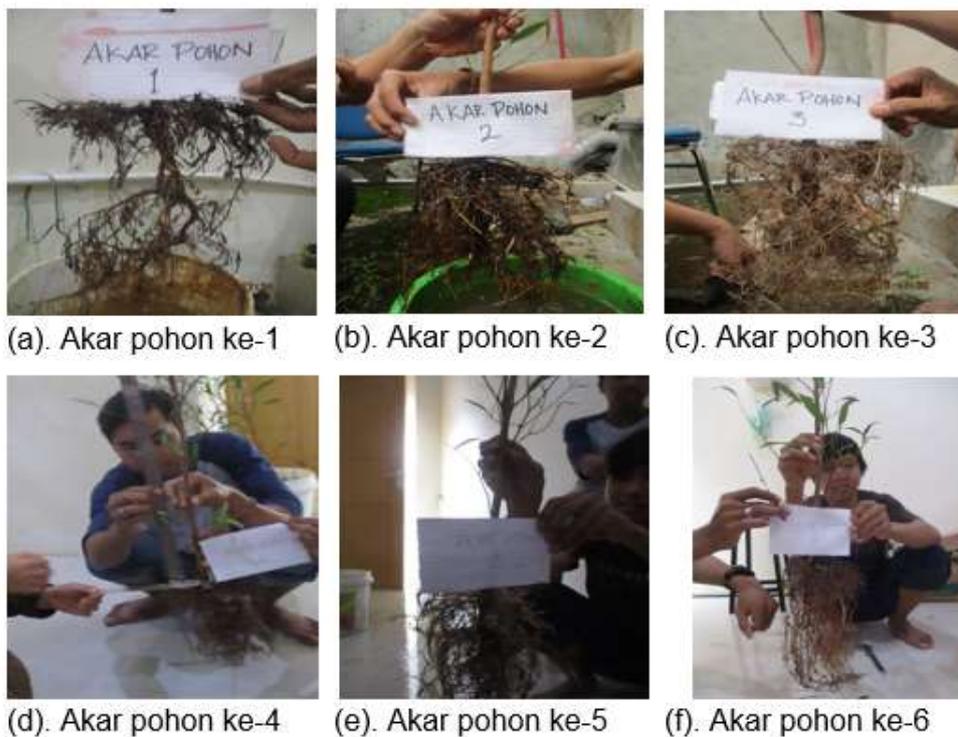
(e). Pengukuran kedalaman akar



(f). Pengukuran diameter pangkal akar induk

Gambar 10. Pemilihan dan penyiapan sampel akar pohon

Untuk keperluan formasi kerapatan akar vegetasi dalam proses penelitian maka diperlukan enam akar pohon masing-masing dengan formasi satu akar (Ak_1), tiga akar (Ak_3), dan enam akar (Ak_6). Keenam akar ini yang akan digunakan sebagai media pengantar infiltrasi dengan tiga variasi intensitas hujan (I_5 , I_{10} dan I_{25}), tiga variasi jenis tanah (SS_1 , SS_2 , dan SS_3) dengan masing-masing empat kali *running* untuk empat kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4).



Gambar 11. Enam akar pohon yang dijadikan variabel kerapatan formasi akar dalam pengamatan infiltrasi

Karakteristik keenam sampel akar pohon yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Karakteristik sampel akar pohon

Nomor akar	Panjang akar induk (cm)	Diameter pangkal akar induk (cm)	Radius rambatan akar (cm)
01	20	1,30	16,00
02	25	1,30	16,00
03	25	1,40	17,00
04	25	1,30	17,00
05	25	1,20	16,00
06	25	1,80	15,00

Sumber: Pengukuran langsung

d. Penyiapan sampel tanah berdasarkan pengelompokan *gradasi* butiran

Dari enam lokasi pengambilan sampel, setelah dilakukan *grane alaysis* maka dihasilkan prosentase butiran sebagaimana dicantumkan pada tabel berikut.

Tabel 6. Penentuan komposisi tanah setelah dilakukan analisa saringan (*grane analysys*)

No	Nama Lokasi	Pasir Kasar (%)	Pasir Halus (%)	Lempung/Lanau (%)
01	Minasa Upa	42,30 ~ 42	49,90 ~50	7,80~ 8
02	Jipang	44,30 ~ 44	47,80~ 48	7,80~ 8
03	Tamalate-2	43,50 ~ 43	47,90~ 48	8,60~ 9
04	Tamalate-3	63,20 ~ 63	31,60~ 32	5,20~ 5
05	Tidung-9	30,80 ~ 31	60,80~ 61	8,40~ 8
06	Hertasning	56,40 ~ 56	34,60~ 35	9,10~ 9

Sumber data: Hasil analisis laboratorium

Dari tabel komposisi tanah hasil analisis saringan tersebut ditetapkan tiga sampel tanah yang dijadikan material benda uji untuk melakukan pengamatan infiltrasi dengan pertimbangan variasi kandungan, dalam hal ini; dominan pasir kasar, dominan pasir halus, dan mengandung lempung/lanau yang cukup tinggi, yakni dari lokasi Tamalate-3 (SS₁), Tidung-9 (SS₂) dan Hertasning (SS₃) dengan komposisi pasir kasar : pasir halus : lempung/anau berturut-turut dalam persen (%) sebesar 63 : 32 : 5, 31 : 61 : 8 dan 56 : 35 : 9. Setelah penentuan prosentase proporsi masing-masing butiran maka dilakukan penimbangan sesuai dengan prosentase masing-masing untuk mendapatkan berat atau volume total yang akan dimasukkan ke dalam bak sampel.

e. Pengeringan sampel tanah

Untuk mendapatkan sampel tanah dalam jumlah yang banyak dan tidak tergantung cuaca, maka dalam penelitian ini disiapkan alat pengering tanah (oven) dengan kapasitas 0,5 m³, dipanaskan dengan menggunakan kompor gas yang cukup besar. Bagian alas dan dinding bagian dalam dilapisi plat timbal agar panasnya merata. Untuk mendapatkan kondisi tanah kering dibutuhkan waktu kurang lebih 2 kali 24 jam.



(a) Alat pengering tanah



(b) sampel tanah dalam alat pengering (terbuka)

Gambar 12. Alat pengering tanah (oven) kapasitas 0.5 m^3

f. Pencampuran butiran sampel tanah

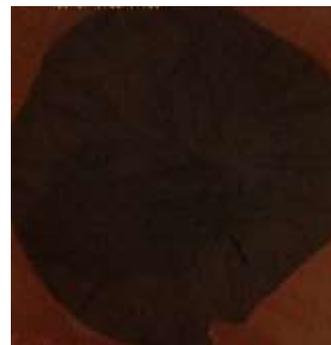
Setelah dilakukan penimbangan berdasarkan proporsinya dan telah mencapai volume ataupun berat yang dibutuhkan, maka dilakukan pencampuran kembali secara merata, sebelum dimasukkan ke dalam wadah (bak sampel).



(a). *Gradasi* yang tertahan pada saringan nomor 14



(b). *Gradasi* yang tertahan pada saringan nomor 200



(c) *Gradasi* yang lolos saringan nomor 200



(d). Penggambungan tiga *gradasi* sampel tanah



(e). Pencampuran (*mix*) secara merata



(f). Penimbangan sebelum dimasukkan ke dalam meja sampel

Gambar 13. Pencampuran butiran tanah setelah diproporsikan sebelum dimasukkan ke dalam wadah (bak) sampel.

g. Perataan dan pemadatan sampel

Tahapan berikutnya bila wadah sampel telah terisi sesuai volume atau ketebalan sampel tanah, maka dilakukan perataan dan pemadatan, baik pada kondisi tanah tanpa akar maupun kondisi tanah yang diberi formasi akar. Pemadatan awal dilakukan dengan tinggi jatuh hummer = 20 cm dengan dua kali tumbukan, kemudian siap dilakukan *running test*.



(a). Pengisian dan perataan tanah



(b). Pemadatan awal



(c). Kondisi setelah pemadatan, siap *running*

Gambar 14. Perataan dan pemadatan sampel tanah

h. Pengukuran kepadatan dengan *sand cone*

Pengukuran kepadatan dilakukan dengan menggunakan *sand cone*. Sampel diambil sebanyak empat kali, yaitu: (a) sesudah penghamparan sampel tanah yang pertama sebelum dihujani, (b) setelah terjadi perubahan kepadatan akibat pemampatan tanah oleh hujan pertama sebelum *running* hujan yang kedua, (c) setelah terjadi perubahan kepadatan akibat pemampatan tanah oleh hujan kedua sebelum *running* hujan ketiga, dan (d) setelah terjadi perubahan kepadatan akibat pemampatan tanah oleh hujan ketiga sebelum *running* hujan keempat.



(a). Penimbangan tabung *sand cone*



(b). Pembuatan lubang dan pengambilan sampel.



(c). Pengukuran kedalaman lubang.



(d). Pemasangan alat, pelepasan pasir kuarsa



(e). Penimbangan tanah dari lubang *sand cone*



(f). Penimbangan kembali tabung *sand cone*

Gambar 15. Pengukuran kepadatan dengan menggunakan *sand cone test*

i. Pemasangan sampel akar dengan tiga formasi



(a) tanpa akar



(b) satu akar



(c) tiga akar



(d) enam akar

Gambar 16. Formasi kerapatan akar pohon

4. Pengujian Tahap Pertama

Pengujian tahap pertama ini adalah penelitian terhadap laju infiltrasi dengan menggunakan tiga sampel tanah dengan empat kepadatan, serta tiga intensitas curah hujan rencana.

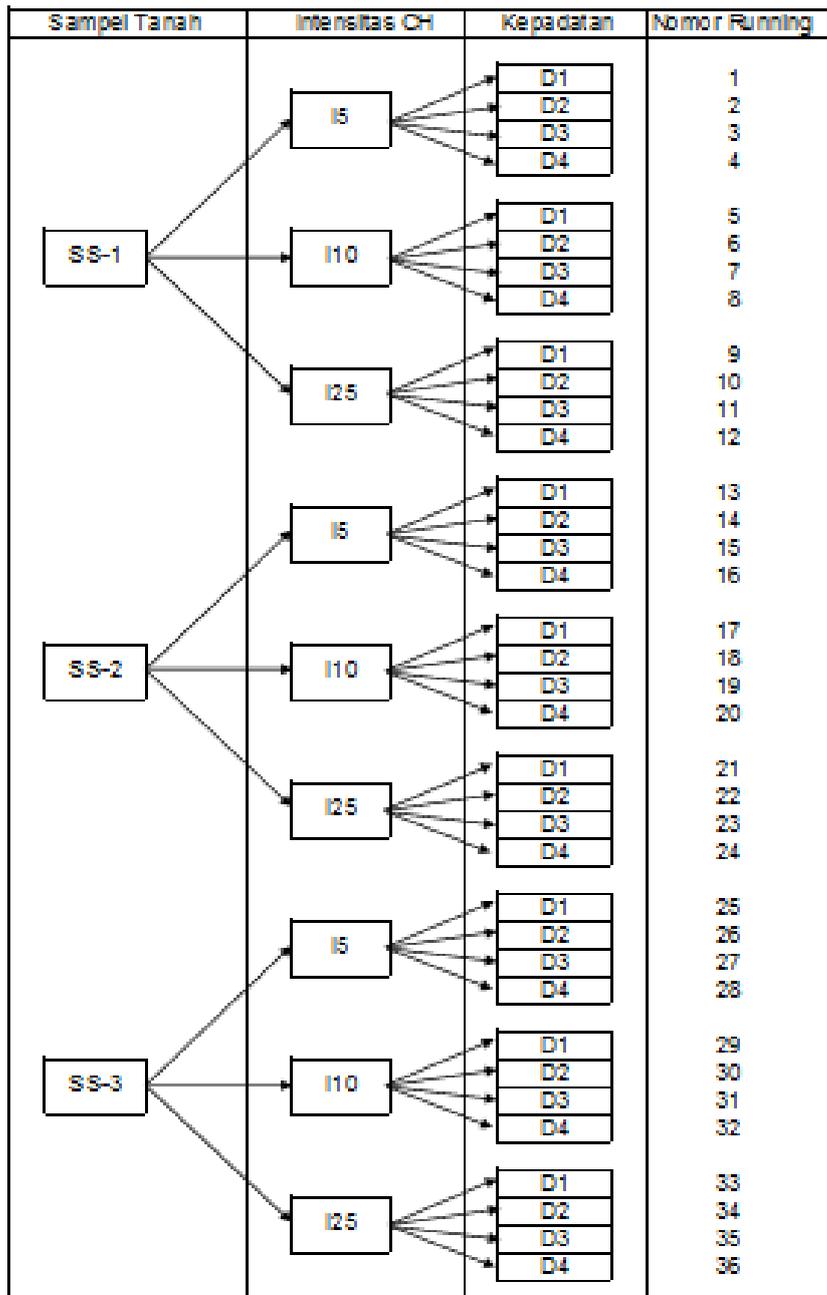
Untuk keperluan menghimpun data dasar sebagai bahan analisis pada tahapan selanjutnya, maka disusun tahapan kegiatan pengujian sebagai berikut:

- a. Penyiapan satu set *rainfall simulator* dan meja sampel yang lengkap dengan perangkat pengamatannya, serta simulasi dan kalibrasi alat simulasi hujan untuk menyesuaikan hasil perhitungan intensitas curah hujan rencana yang dihitung berdasarkan data lapangan dengan intensitas curah hujan pada alat simulasi.
- b. Mempersiapkan sampel tanah dengan tiga kondisi yang telah dibuat komposisi butirannya sesuai dengan karakter butiran sampel dari lapangan. (Gambar 13)
- c. Mengisi meja sampel dengan tanah yang telah dipersiapkan sebelumnya, kemudian dilakukan pemadatan awal dengan alat pemadat seberat 5 kg dengan tinggi jatuh 20 cm (Gambar 13)
- d. Melakukan *sand cone test* awal untuk mendapatkan kepadatan tanah mula-mula (D_1) sebelum dihujani. (Gambar 15)
- e. Menyiapkan format dan alat pencatatan data; waktu, laju infiltrasi, laju limpasan, dan tinggi air permukaan dan tinggi air di dalam sampel tanah. Format pencatatan ini terdiri atas format pencatatan selama hujan berlangsung dan setelah hujan dihentikan.
- f. Setelah semuanya siap, maka penyiraman hujan (*running test-1*) dapat dilakukan dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut: (1) sesaat setelah pompa dinyalakan maka hujan yang keluar dari *nozzle* harus ditadah sebelum *flowmeter* menunjukkan angka yang konstan sesuai dengan intensitas curah hujan yang diinginkan. Setelah hujan konstan, alat penadah dapat dilepaskan dan dalam waktu yang

bersamaan alat pengatur waktu (*stop watch*) dijalankan, selanjutnya dilakukan pengamatan dan pencatatan/perekaman data. Setelah infiltrasi, dan *run off* mencapai konstan pada waktu tertentu, maka curah hujan dihentikan. Selanjutnya tetap dilanjutkan pencatatan laju limpasan dan infiltrasi sampai pada waktu tertentu dimana benar-benar tidak terjadi infiltrasi lagi.

- g. Setelah *running test-1* selesai, maka dilakukan *sand cone* yang kedua untuk mengetahui kepadatan kedua (D_2) tanah akibat pemampatan oleh hujan. Selanjutnya dilakukan *running test-2* dengan tahapan seperti point (e) dan (f). Kemudian diulang dengan prosedur yang sama untuk *running test* kepadatan ketiga (D_3) dan *running test* kepadatan keempat (D_4). Dengan demikian *running test* untuk sampel tanah satu (SS_1) dengan intensitas hujan dengan kala ulang lima tahun (I_5) telah selesai.
- h. Prosedur (a) sampai (g) dilakukan secara berturut-turut untuk intensitas curah hujan dengan kala ulang 10 tahun (I_{10}) dan 25 tahun (I_{25}).

Selanjutnya dengan prosedur yang sama dilakukan *running test* untuk sampel tanah kedua (SS_2) dan sampel tanah ketiga (SS_3). Dengan demikian untuk tiga sampel tanah dengan tiga intensitas curah hujan serta empat kepadatan memerlukan *running test* sejumlah 12 kali *running* tiap sampel atau 36 kali *running* untuk tiga sampel. Adapun skema *running test* untuk satu sampel diperlihatkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Skema *running test* untuk tiga sampel tanah (SS₁, SS₂, dan SS₃) tanpa akar pohon dengan empat kepadatan

5. Pengujian Tahap Kedua

Pengujian tahap kedua ini adalah pengamatan terhadap laju infiltrasi dengan menggunakan tiga sampel tanah dengan empat kepadatan, tiga intensitas curah hujan rencana, serta tiga formasi

kerapatan akar pohon (formasi satu akar, A_{k_1} ; tiga akar, A_{k_3} ; dan enam akar, A_{k_6}).

Untuk keperluan menghimpun data kapasitas infiltrasi akibat pengaruh akar pohon, maka disusun tahapan kegiatan pengujian sebagai berikut:

- a. Penyiapan satu set *rainfall simulator* dan meja sampel yang lengkap dengan perangkat pengamatannya, serta simulasi dan kalibrasi alat simulasi hujan untuk menyesuaikan hasil perhitungan intensitas curah hujan rencana yang dihitung berdasarkan data lapangan dengan intensitas curah hujan pada alat simulasi.
- b. Mempersiapkan sampel tanah dengan tiga kondisi yang telah dibuat komposisi butirannya sesuai dengan karakter butiran sampel dari lapangan. (Gambar 13)
- c. Mempersiapkan sampel akar pohon dengan tiga formasi A_{k_1} , A_{k_3} , dan A_{k_6}
- d. Mengisi meja sampel dengan akar dan tanah yang telah dipersiapkan sebelumnya, dimulai dengan memasang satu akar pohon (A_{k_1}), kemudian dilakukan pemadatan awal dengan alat pemadat seberat 5 kg dengan tinggi jatuh 20 cm (Gambar 14) dengan pola tumbukan sama dengan pengujian pertama untuk mendapatkan kepadatan yang sama.
- e. Menyiapkan format dan alat pencatatan data; waktu, laju infiltrasi, laju limpasan, dan tinggi air permukaan serta tinggi air di dalam sampel

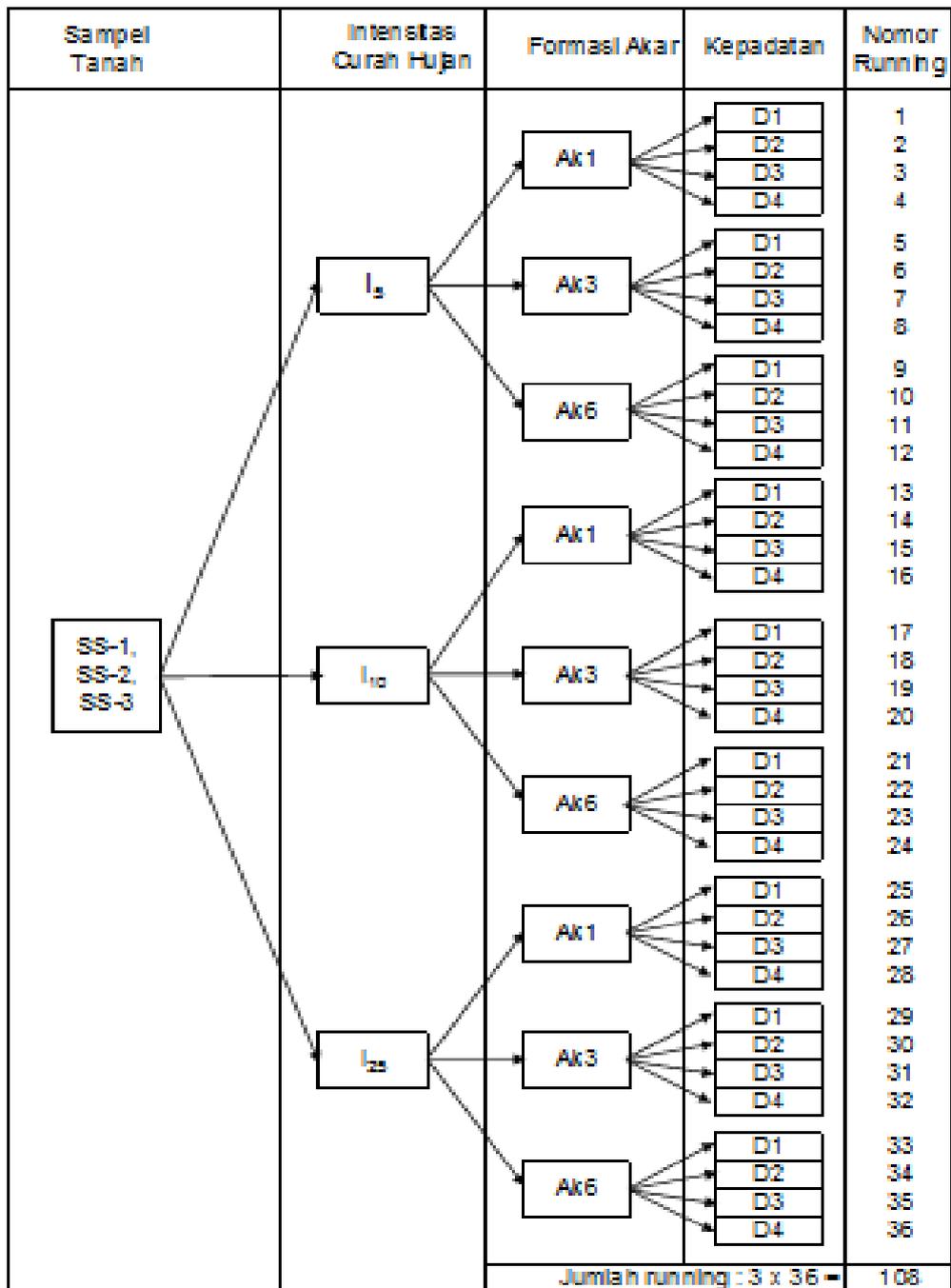
tanah. Format pencatatan ini terdiri atas format pencatatan selama hujan berlangsung dan setelah hujan dihentikan.

- f. Setelah semuanya siap, maka penyiraman hujan (*running test-1*) dapat dilakukan dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut: (1) sesaat setelah pompa dinyalakan maka hujan yang keluar dari nozzle harus ditadah sebelum *flowmeter* menunjukkan angka yang konstan sesuai dengan intensitas curah hujan yang diinginkan. Setelah hujan konstan, alat penadah dapat dilepaskan dan dalam waktu yang bersamaan alat pengatur waktu (*stop watch*) dijalankan, selanjutnya dilakukan pengamatan dan pencatatan/perekaman data. Setelah infiltrasi, dan *run off* mencapai konstan pada waktu tertentu, maka curah hujan dihentikan. Selanjutnya tetap dilanjutkan pencatatan laju limpasan dan infiltrasi sampai pada waktu tertentu dimana benar-benar tidak terjadi infiltrasi lagi.
- g. Setelah *running test-1* selesai, maka dilakukan *running test-2* dengan dengan asumsi kepadatan kedua (D_2) dengan mengikuti tahapan seperti point (e) dan (f). Kemudian diulang dengan prosedur yang sama untuk *running test* kepadatan ketiga (D_3) dan *running test* kepadatan keempat (D_4). Dengan demikian *running test* untuk sampel tanah satu (SS_1) dengan intensitas hujan dengan kala ulang lima tahun (I_5), formasi satu akar (Ak_1) dengan empat kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) telah selesai.
- h. Prosedur (a) sampai (g) dilakukan secara berturut-turut untuk intensitas curah hujan dengan kala ulang lima tahun (I_5) formasi tiga

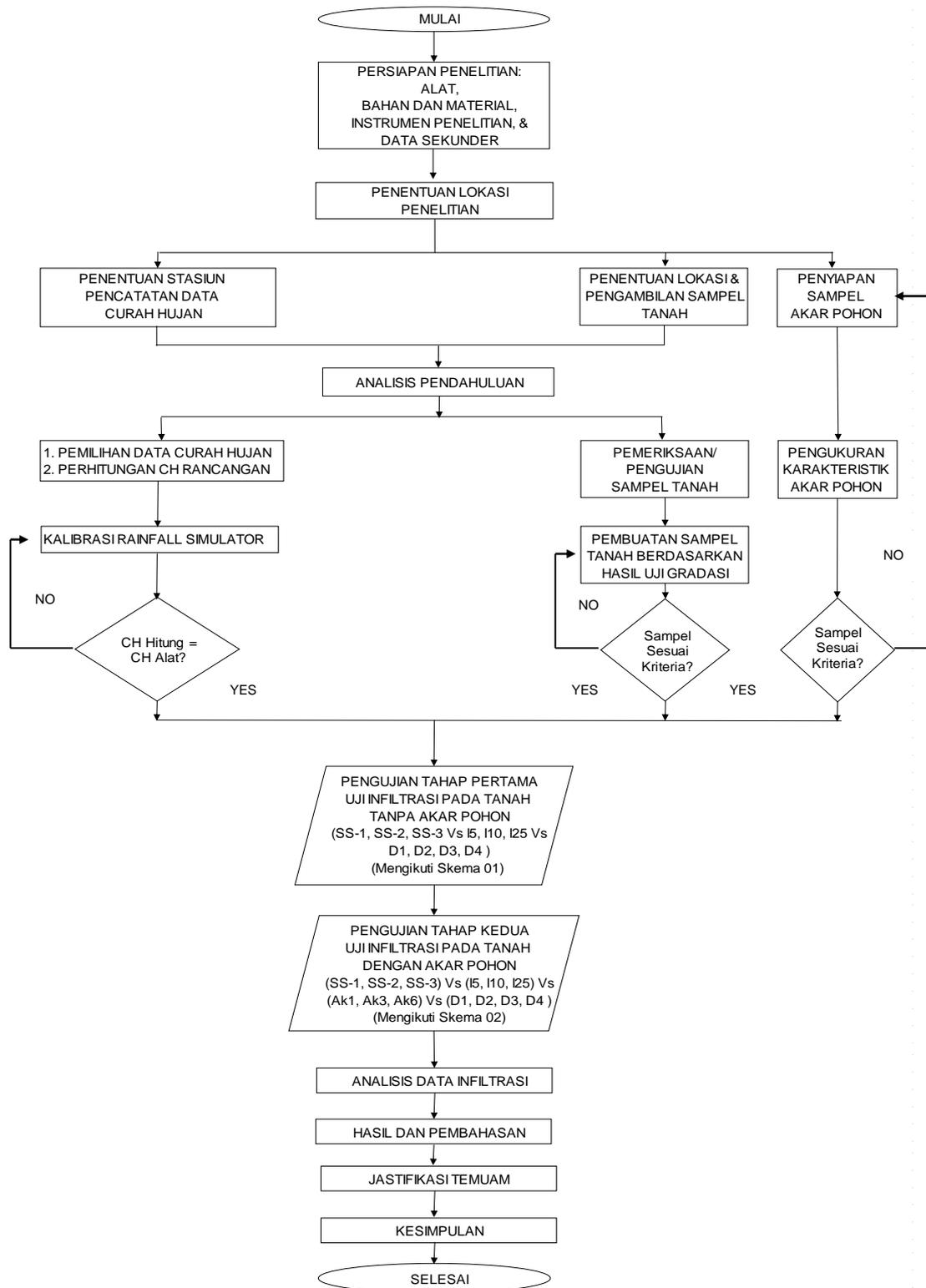
akar (Ak_3) dengan empat kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4); maupun formasi enam akar (Ak_6) dengan empat kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4).

- i. Prosedur (a) sampai (g) juga dilakukan secara berturut-turut untuk intensitas curah hujan dengan kala ulang 10 tahun (I_{10}) formasi satu akar (Ak_1) dengan empat kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4), formasi tiga akar (Ak_3) dengan empat kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4); maupun formasi enam akar (Ak_6) dengan empat kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4).
- j. Seterusnya prosedur (a) sampai (g) juga dilakukan secara berturut-turut untuk intensitas curah hujan dengan kala ulang 25 tahun (I_{25}) formasi satu akar (Ak_1) dengan empat kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4), formasi tiga akar (Ak_3) dengan empat kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4); maupun formasi enam akar (Ak_6) dengan empat kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4).

Dengan demikian untuk tiga sampel tanah dengan tiga intensitas curah hujan dan tiga formasi akar serta empat kepadatan memerlukan running test sejumlah 3 x 36 kali running tiap sampel atau 108 kali running untuk tiga sampel. Adapun skema *running test* untuk satu sampel diperlihatkan pada Gambar 18.



Gambar 18. Skema running test untuk tiga sampel tanah (SS₁, SS₂ dan SS₃) dengan tiga intensitas curah hujan, tiga formasi akar pohon dan empat variasi kepadatan tanah.



Gambar 19. Flow chart pelaksanaan penelitian

C. Waktu dan Tempat Penelitian

Rangkaian aktifitas penelitian ini dilakukan selama kurun waktu 17 bulan, dimulai pada bulan Januari 2016 sampai dengan bulan Mei 2017 dengan kegiatan-kegiatan: (1) desain, order, pengiriman, perakitan dan uji coba alat *rainfall simulator*, (2) pengambilan data sekunder, (3) pengambilan dan pengujian sampel tanah, (4) seleksi dan pengambilan sampel akar pohon, (5) penyediaan/perakitan alat bantu (6) kalibrasi alat, (7) pengambilan data dengan dua kelompok pengujian yakni; pengambilan data laju infiltrasi dengan pengujian pada tanah tanpa akar pohon dan dengan menggunakan akar pohon dengan tiga variasi hujan, tiga variasi sampel tanah, dan empat variasi kepadatan. Sedangkan tempat Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Hasanuddin dan Laboratorium Hidrologi Universitas Muhammadiyah Makassar.

D. Pencatatan Data

Pencatatan data yang terkait langsung dengan pengamatan (di luar pencatatan data pendukung) dilakukan untuk beberapa keadaan, yakni:

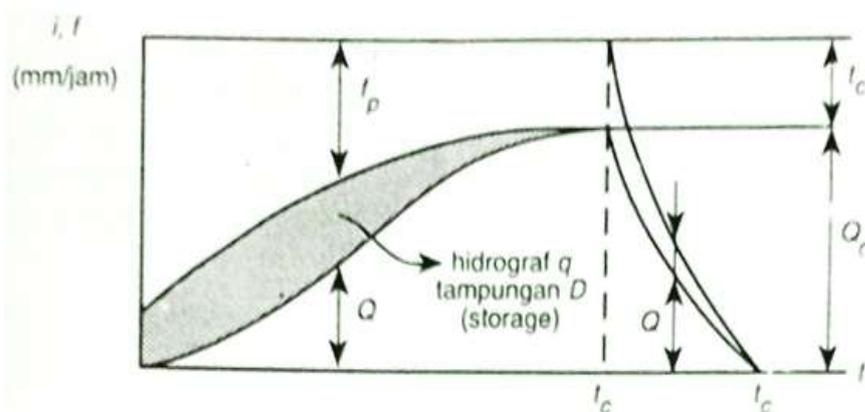
- (1) Pencatatan/penetapan *input* intensitas curah hujan dengan menetapkan tinggi air dalam *flowmeter* berdasarkan Tabel 6. Yakni tinggi air $h = 2 \times 2,47 = 4,94$ l/min untuk hujan dengan I_5 sebesar 246,841 mm/jam, tinggi air $h = 2 \times 2,90 = 5,80$ l/min untuk hujan dengan I_{10} sebesar 290,335 mm/jam, tinggi air $h = 2 \times 3,45 = 6,90$ l/m untuk hujan dengan I_{25} sebesar 344,900 mm/jam.

- (2) Pencatatan/perekaman data limpasan (*runoff*) dengan interval waktu pencatatan 5 menit pada dua keadaan, yakni (a) mulai pada saat hujan dimulai sampai keadaan mencapai konstan, dan (b) mulai pada saat hujan dihentikan sampai tidak terjadi limpasan. Pencatatan ini dilakukan dengan tiga variasi intensitas curah hujan untuk tiga variasi sampel tanah dengan masing-masing empat variasi kepadatan. Kondisi ini berlaku untuk pengujian sampel tanah tanpa akar dan dengan variasi formasi kerapatan akar pohon. Total pengujian sebanyak $36 + 108 = 144$ kali *running*.
- (3) Pencatatan/perekaman data infiltrasi dengan interval waktu pencatatan 5 menit pada dua keadaan, yakni (a) mulai pada saat hujan dimulai sampai keadaan mencapai konstan, dan (b) mulai pada saat hujan dihentikan sampai tidak terjadi infiltrasi. Perekaman data ini dilakukan dengan tiga variasi intensitas curah hujan untuk tiga variasi sampel tanah dengan masing-masing empat variasi kepadatan. Kondisi ini berlaku untuk pengujian sampel tanah tanpa akar dan dengan variasi formasi kerapatan akar pohon. Pengambilan data dilakukan bersamaan dengan pengambilan data limpasan (*run off*), sehingga total pengujiannya juga sebanyak $36 + 108 = 144$ kali *running*.
- (4) Pencatatan/perekaman data perubahan tinggi muka air pada manometer tinggi muka air selama proses limpasan dan infiltrasi dengan interval waktu pencatatan 5 menit pada dua keadaan, yakni (a) mulai pada saat hujan dimulai sampai keadaan mencapai konstan, dan (b) mulai pada saat hujan dihentikan sampai tidak terjadi infiltrasi.
- (5) Pencatatan tinggi genangan permukaan di atas sampel tanah.

E. Analisis Data

Soemarto (1987) dan Sri Harto (2000) mendiskripsikan mekanisme pengambilan dan analisis data infiltrasi dengan menggunakan rainfall simulator sebagai berikut:

Besarnya i , q dan f_p dinyatakan dalam mm/jam. Jika i , q , dan f_p diplot ke atas grafik sebagai fungsi waktu, maka didapat seperti Gambar 20 berikut.



Gambar 20. Prinsip pengamatan pada percobaan rainfall simulator

Setelah hujan di *running* beberapa lama, selisih i dan q menjadi hampir konstan, ini berarti bahwa f_c sudah hampir tercapai. Setelah *running* hujan dihentikan limpasan masih berjalan meskipun dengan intensitas yang mengecil. Hal ini disebabkan karena menurunnya tebal air di atas permukaan tanah yang berarti pelepasan tampungan air di atas permukaan tanah. Selama proses pelepasan tampungan tersebut infiltrasi masih ada dan dianggap bahwa infiltrasi f menurun dengan cara yang sama dengan debit q . Ini berarti bahwa pada permulaan *running test* sebesar volume total limpasan dan infiltrasi setelah hujan dihentikan. Laju perubahan tampungan diperlihatkan oleh ordinat-ordinat dalam bagian

terarsir pada Gambar 20 dengan perkiraan yang tepat terhadap besarnya tampungan tersebut dapat ditentukan garis fp di atas hidrograf q.

Pada saat $t < t_c$, $i \neq f_p + q$. untuk mendapatkan fp, $D = f(q)$ harus dicari terlebih dahulu.

Pada saat $t > t_c$, volume air yang berada dalam tampungan

$$D = \int (f + q) dt \quad (26)$$

dengan dianggap bahwa $f/q \approx f_c/q_c$, sehingga

$$D = \int q (1 + f_c/q_c) dt$$

$$D = (1 + f_c/q_c) \int q dt \quad (27)$$

Atau $D = f(q)$

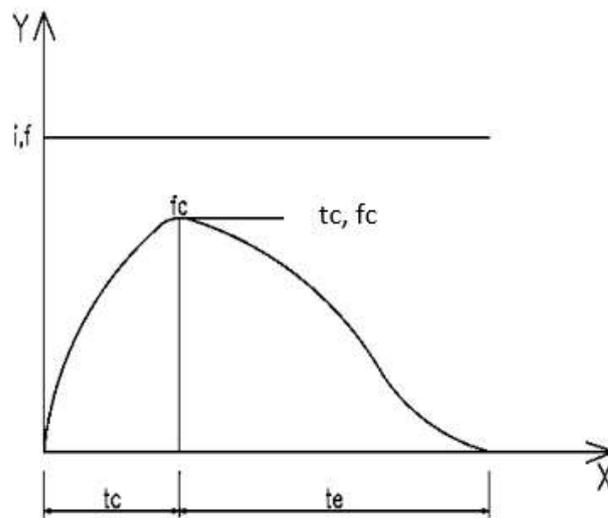
Menurut Sri Harto (2000), evaluasi terhadap percobaan ini dapat dilakukan dengan pengertian berikut. Memperhatikan bahwa pada saat hujan buatan mulai dihentikan sampai dengan debit keluar petak tanah sama dengan nol, maka pengertian serupa dapat dianalogikan pada saat pertama kali hujan buatan dioperasikan. Di dalam petak tanah juga akan terjadi penampungan, sampai saat hujan seimbang dengan debit infiltrasi, sehingga dengan pengertian tersebut maka volume air yang keluar mulai hujan buatan dihentikan (termasuk infiltrasi) dapat dianggap sama dengan volume air yang terbentuk pada saat hujan dimulai sampai terjadi keseimbangan. Maka garis lengkung infiltrasi dapat ditarik dengan coba-coba sehingga volume yang terjadi sama.

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Parameter Amatan

Parameter amatan dalam penelitian ini dapat ditakrifkan melalui Gambar berikut:



Gambar 21. Komponen grafik laju infiltrasi

Pada Gambar 21 menunjukkan grafik laju infiltrasi terdiri dari dua bagian: Pertama, yakni lengkung naik yang melukiskan data amatan laju infiltrasi f pada saat terjadi hujan i dengan waktu awal t_0 sampai dengan waktu mencapai infiltrasi konstan t_c dengan nilai laju infiltrasi maksimum/konstan f_c . Kedua, yakni lengkung turun yang melukiskan data amatan laju infiltrasi f pada saat hujan i berhenti dengan waktu infiltrasi t_c sampai dengan waktu berakhirnya infiltrasi t_e dengan nilai f_0 . Pada dasarnya prinsip pengamatan ini merupakan pengembangan dari pengamatan infiltrasi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 20 Bab III,

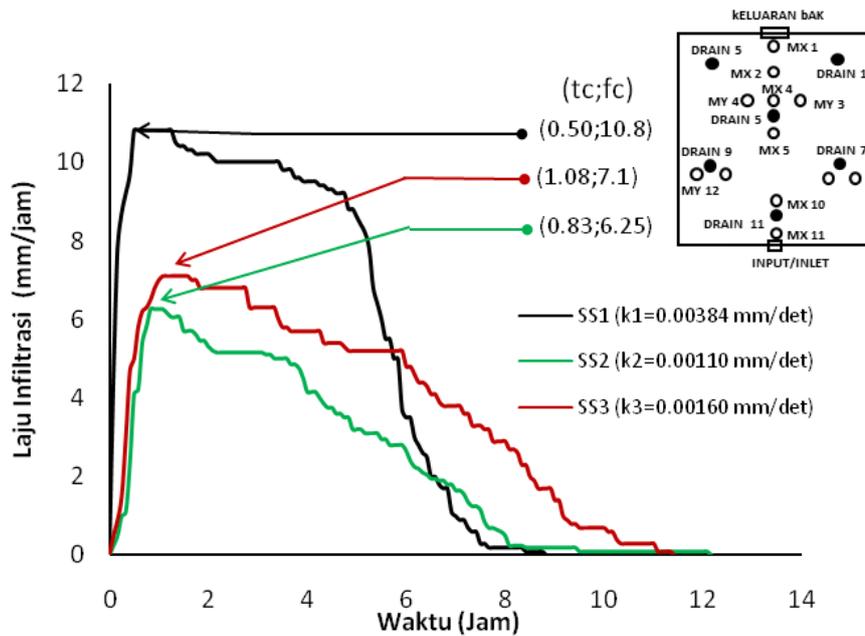
dimana perbedaan utama dari antara kedua prinsip pengamatan ini adalah pada pengambilan datanya, dimana pada Gambar 20 data utama yang direkam dari pengamatan adalah data aliran permukaan (*runoff*), sehingga data infiltrasi harus diperkirakan atau diperkurangkan antara data intensitas curah hujan dengan data aliran permukaan. Sedangkan pada penelitian ini data yang direkam adalah data infiltrasi secara langsung, sehingga data yang diperoleh merupakan data aktual.

B. Perbandingan Laju dan Kapasitas Infiltrasi Pada Tiga Jenis Tanah Tanpa Menggunakan Akar Pohon

Untuk melihat pengaruh jenis tanah terhadap kapasitas infiltrasi, yang mana dalam pengamatan ini jenis tanah diwakili atau dinyatakan dengan koefisien permeabilitas k_p (mm/detik), maka berikut ini akan disajikan gambar dan tabel perbandingan laju infiltrasi (f) dan kapasitas infiltrasi (fc) pada tiga jenis sampel tanah dengan masing-masing nilai koefisien permeabilitasnya yakni; sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien $k_{p1} = 0,00384$ mm/detik, SS_2 dengan $k_{p2} = 0,00110$ mm/detik, dan SS_3 dengan $k_{p3} = 0,00160$ mm/detik.

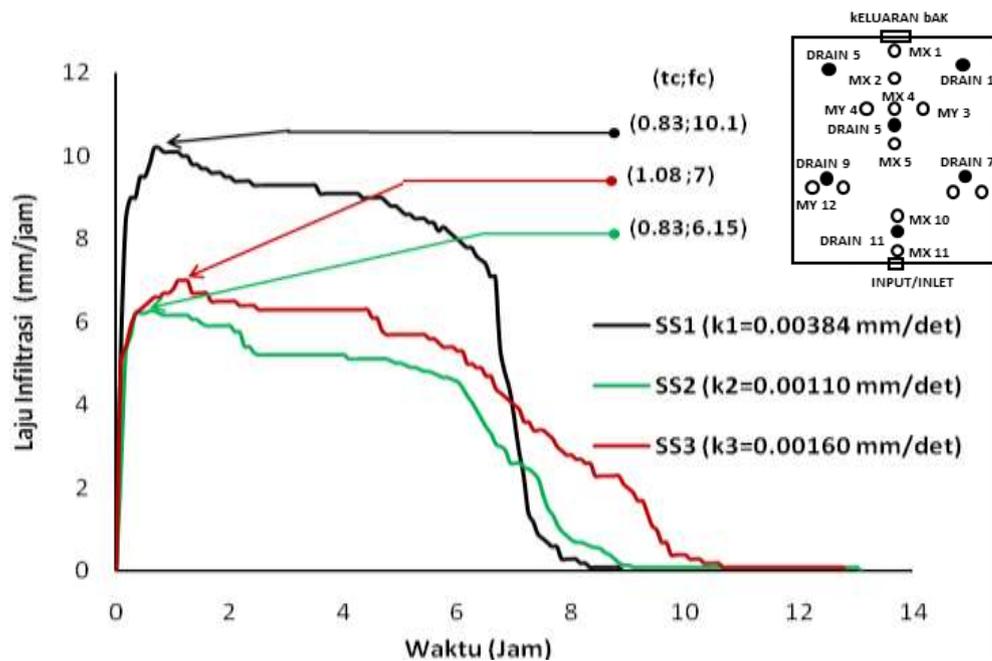
1. Intensitas curah hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam

Laju infiltrasi (f) dan kapasitas infiltrasi (fc) untuk curah hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam dengan masing-masing empat variasi kepadatan (D_1, D_2, D_3 dan D_4) ditunjukkan pada Gambar 22 sampai dengan Gambar 25.



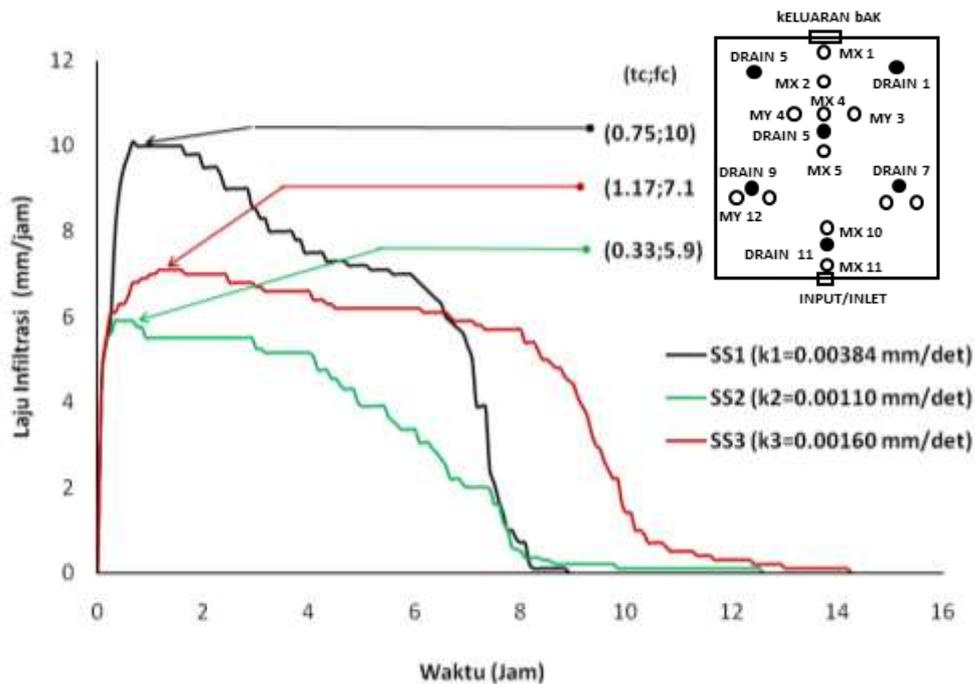
Gambar 22. Perbandingan laju infiltrasi pada tiga jenis tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) dengan kepadatan D_1 untuk intensitas hujan I_5

Dari Gambar 22 untuk sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien permeabilitas $k_{p1} = 0,00384$ mm/det, dan kepadatan $D_1 = 63,95$ % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,50$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 10,8$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 7,75$ jam. Untuk sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas $k_{p2} = 0,00110$ mm/det, dan kepadatan $D_1 = 63,85$ % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,83$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 6,25$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 12,17$ jam, dan untuk sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas $k_{p3} = 0,00160$ mm/det, dan kepadatan $D_1 = 64,35$ % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,08$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 7,1$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 11,42$ jam.



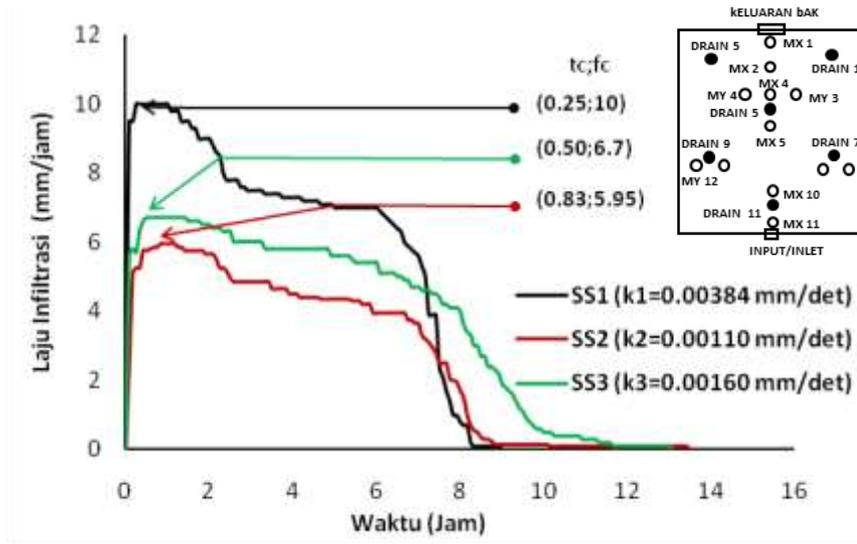
Gambar 23. Perbandingan laju infiltrasi pada tiga jenis tanah (SS₁, SS₂ dan SS₃) dengan kepadatan D₂ untuk intensitas hujan I₅

Dari Gambar 23 untuk sampel tanah satu (SS₁) dengan koefisien permeabilitas $k_{p1} = 0,00384$ mm/det, dan kepadatan D₂ = 70,41 % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,83$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 10,1$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 8,92$ jam. Untuk sampel tanah dua (SS₂) dengan koefisien permeabilitas $k_{p2} = 0,00110$ mm/det, dan kepadatan D₂ = 65,81 % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,83$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 6,15$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 13,08$ jam, dan untuk sampel tanah tiga (SS₃) dengan koefisien permeabilitas $k_{p3} = 0,00160$ mm/det, dan kepadatan D₂ = 65,5 % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,08$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 7,00$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 12,83$ jam.



Gambar 24. Perbandingan laju infiltrasi pada tiga jenis tanah (SS_1 , SS_2 , dan SS_3) dengan kepadatan D_3 untuk intensitas hujan I_5

Dari Gambar 24 untuk sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,00384$ mm/det, dan kepadatan $D_3 = 71,01$ % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 10$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 8,92$ jam. Untuk sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas $kp_2 = 0,00110$ mm/det, dan kepadatan $D_3 = 71,39$ % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,33$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 5,9$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 12,58$ jam, dan untuk sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas $kp_3 = 0,00160$ mm/det, dan kepadatan $D_3 = 64,35$ % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,17$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 7,1$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 14,25$ jam.



Gambar 25. Perbandingan laju infiltrasi pada tiga jenis tanah (SS₁, SS₂ dan SS₃) dengan kepadatan D₄ untuk intensitas hujan I₅

Dari Gambar 25 untuk sampel tanah satu (SS₁) dengan koefisien permeabilitas $k_{p1} = 0,00384$ mm/det, dan kepadatan D₄ = 71,57 % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,25$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 10$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 7,75$ jam. Untuk sampel tanah dua (SS₂) dengan koefisien permeabilitas $k_{p2} = 0,00110$ mm/det, dan kepadatan D₄ = 69,83 % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,83$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 5,95$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 13,50$ jam, dan untuk sampel tanah tiga (SS₃) dengan koefisien permeabilitas $k_{p3} = 0,00160$ mm/det, dan kepadatan D₄ = 71,71 % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,50$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 6,7$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 14,00$ jam.

Data hasil amatan sebagaimana diuraikan berdasarkan Gambar 22 sampai dengan Gambar 25 dirangkum dalam Tabel 7 berikut ini.

Tabel 7. Parameter Infiltrasi Terhadap Pengaruh Tiga Jenis Tanah untuk Intensitas I_5

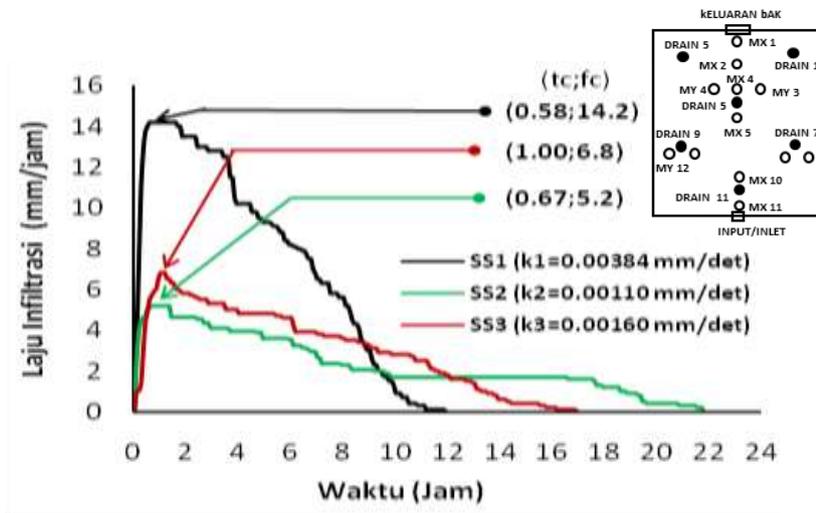
No	Skema	D (%)	I_5 (mm/jam)	h (mm)	kp (mm/det)	tc (Jam)	fc (mm/Jam)	te (jam)
1	SS1-I5-D1	63.95	246.841	30	0.00384	0.50	10.8	8.83
2	SS2-I5-D1	63.85	246.841	30	0.0011	0.83	6.25	12.17
3	SS3-I5-D1	64.35	246.841	30	0.0016	1.08	7.1	11.42
4	SS1-I5-D2	70.41	246.841	30	0.00384	0.83	10.1	8.92
5	SS2-I5-D2	65.81	246.841	30	0.0011	0.83	6.15	13.08
6	SS3-I5-D2	65.5	246.841	30	0.0016	1.08	7	12.83
7	SS1-I5-D3	71.01	246.841	30	0.00384	0.75	10	8.92
8	SS2-I5-D3	71.39	246.841	30	0.0011	0.33	5.9	12.58
9	SS3-I5-D3	64.35	246.841	30	0.0016	1.17	7.1	14.25
10	SS1-I5-D4	71.57	246.841	30	0.00384	0.25	10	9.00
11	SS2-I5-D4	69.83	246.841	30	0.0011	0.83	5.95	13.50
12	SS3-I5-D4	71.71	246.841	30	0.0016	0.50	6.7	14.00

Dari Tabel 7 menunjukkan bahwa pada tanah SS_1 dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,0038$ mm/det untuk intensitas hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam menunjukkan waktu mencapai konstan tc lebih cepat, laju infiltrasi konstan fc lebih tinggi, dan waktu akhir infiltrasi te lebih cepat dibandingkan dengan dua sampel tanah lainnya dengan koefisien permeabilitas yang lebih rendah masing-masing tanah SS_2 dengan $kp_2 = 0,0011$ mm/det dan SS_3 dengan $kp_3 = 0,0016$ mm/det. Hal tersebut menunjukkan fenomena secara logis bahwa angka koefisien permeabilitas yang besar menunjukkan butiran tanah yang lebih besar, celah-celah di antara butiran tersebut juga lebih besar sehingga arah rambat aliran infiltrasi juga lebih besar dan lebih cepat.

2. Intensitas curah hujan $I_{10} = 290,355$ mm/jam

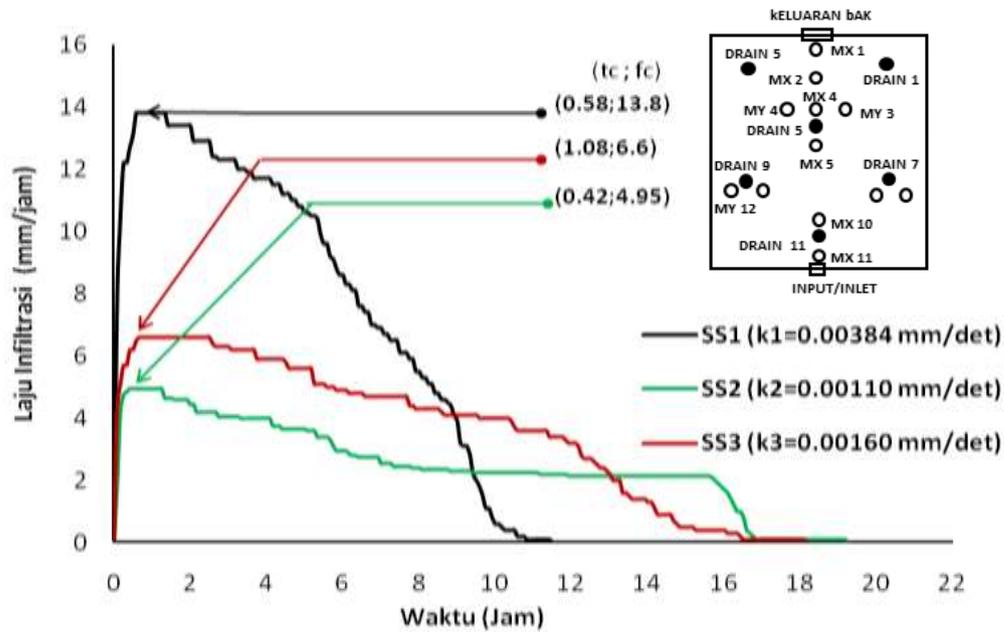
Laju infiltrasi (f) dan kapasitas infiltrasi (fc) untuk curah hujan $I_{10} = 290,355$ mm/jam dengan masing-masing empat variasi kepadatan

ditunjukkan pada Gambar 26 sampai dengan Gambar 29 beserta parameternya masing-masing yang disajikan pada Tabel 8.



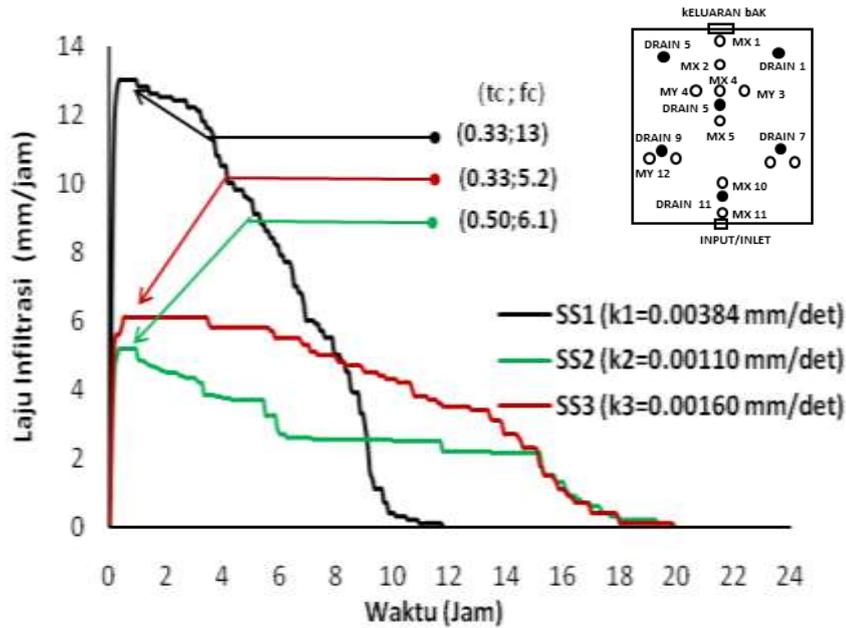
Gambar 26. Perbandingan laju infiltrasi pada tiga jenis tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) dengan kepadatan D_1 untuk intensitas hujan I_{10}

Dari Gambar 26 untuk sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien permeabilitas $k_{p1} = 0,00384$ mm/det, dan kepadatan $D_1 = 63,23$ % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,58$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 14,2$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 11,92$ jam. Untuk sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas $k_{p2} = 0,00110$ mm/det, dan kepadatan $D_1 = 62,7$ % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,67$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 5,2$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 21,75$ jam, dan untuk sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas $k_{p3} = 0,00160$ mm/det, dan kepadatan $D_1 = 64,35$ % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,00$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 6,8$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 16,92$ jam.



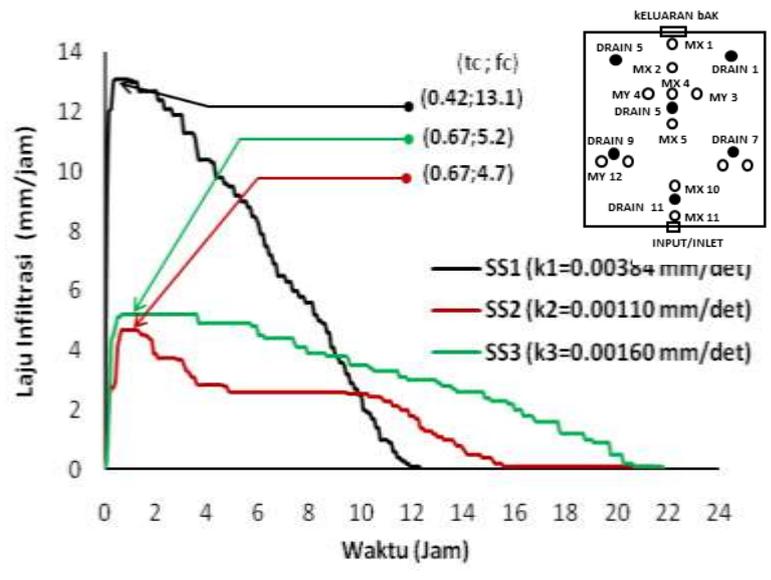
Gambar 27. Perbandingan laju infiltrasi pada tiga jenis tanah (SS₁, SS₂ dan SS₃) dengan kepadatan D₂ untuk intensitas hujan I₁₀

Dari Gambar 27 untuk sampel tanah satu (SS₁) dengan koefisien permeabilitas $k_{p1} = 0,00384$ mm/det, dan kepadatan $D_2 = 70,59$ % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,58$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 13,8$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 6,17$ jam. Untuk sampel tanah dua (SS₂) dengan koefisien permeabilitas $k_{p2} = 0,00110$ mm/det, dan kepadatan $D_2 = 71,24$ % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,42$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 4,95$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 13,08$ jam, dan untuk sampel tanah tiga (SS₃) dengan koefisien permeabilitas $k_{p3} = 0,00160$ mm/det, dan kepadatan $D_2 = 74,31$ % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,08$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 6,60$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 12,83$ jam.



Gambar 28. Perbandingan laju infiltrasi pada tiga jenis tanah (SS₁, SS₂ dan SS₃) dengan kepadatan D_3 untuk intensitas hujan I_{10}

Dari Gambar 28 untuk sampel tanah satu (SS₁) dengan koefisien permeabilitas $k_{p1} = 0,00384$ mm/det, dan kepadatan $D_3 = 70,94$ % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,33$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 13,00$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 6,08$ jam. Untuk sampel tanah dua (SS₂) dengan koefisien permeabilitas $k_{p2} = 0,00110$ mm/det, dan kepadatan $D_3 = 70,32$ % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,33$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 5,20$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 19,33$ jam, dan untuk sampel tanah tiga (SS₃) dengan koefisien permeabilitas $k_{p3} = 0,00160$ mm/det, dan kepadatan $D_3 = 74,31$ % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,08$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 6,6$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 12,92$ jam.



Gambar 29. Perbandingan laju infiltrasi pada tiga jenis tanah (SS₁, SS₂ dan SS₃) dengan kepadatan D₄ untuk intensitas hujan I₁₀

Dari Gambar 29 untuk sampel tanah satu (SS₁) dengan koefisien permeabilitas $k_{p1} = 0,00384$ mm/det, dan kepadatan D₄ = 71,79 % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,42$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 13,10$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 7,75$ jam. Untuk sampel tanah dua (SS₂) dengan koefisien permeabilitas $k_{p2} = 0,00110$ mm/det, dan kepadatan D₄ = 75,12 % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,33$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 4,70$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 21,58$ jam, dan untuk sampel tanah tiga (SS₃) dengan koefisien permeabilitas $k_{p3} = 0,00160$ mm/det, dan kepadatan D₄ = 74,93 % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,17$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 5,20$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 12,83$ jam. Rangkuman dari uraian yang dipaparkan dari Gambar 26 sampai dengan 29 ditampilkan pada Tabel 8.

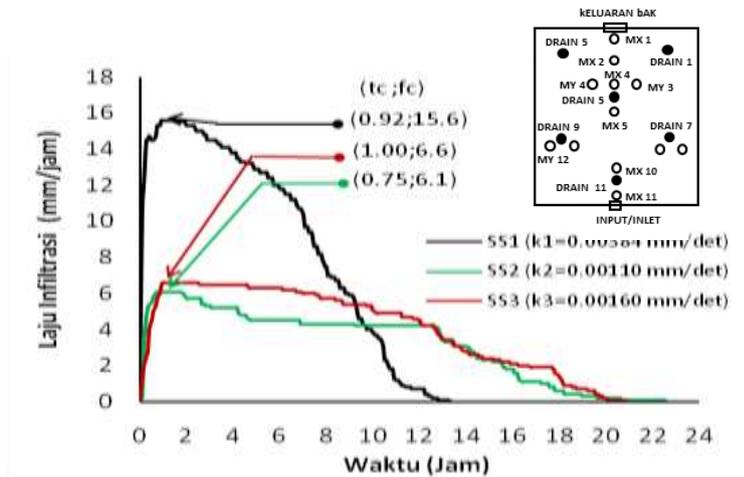
Tabel 8. Parameter infiltrasi terhadap pengaruh tiga jenis tanah untuk intensitas I_{10}

No	Skema	D (%)	I_{10} (mm/jam)	h (mm)	kp (mm/det)	tc (Jam)	fc (mm/Jam)	te (jam)
1	SS1-I10-D1	63.23	290.335	30	0.00384	0.58	14.2	11.92
2	SS2-I10-D1	62.7	290.335	30	0.0011	0.67	5.2	21.75
3	SS3-I10-D1	64.35	290.335	30	0.0016	1.00	6.8	16.92
4	SS1-I10-D2	70.59	290.335	30	0.00384	0.58	13.8	11.50
5	SS2-I10-D2	71.24	290.335	30	0.0011	0.42	4.95	13.08
6	SS3-I10-D2	73.41	290.335	30	0.0016	1.08	6.6	12.83
7	SS1-I10-D3	70.94	290.335	30	0.00384	0.33	13	11.75
8	SS2-I10-D3	70.32	290.335	30	0.0011	0.33	5.2	19.33
9	SS3-I10-D3	74.31	290.335	30	0.0016	0.50	6.1	19.92
10	SS1-I10-D4	71.79	290.335	30	0.00384	0.42	13.1	12.33
11	SS2-I10-D4	75.12	290.335	30	0.0011	0.33	4.70	21.58
12	SS3-I10-D4	74.93	290.335	30	0.0016	1.17	5.20	21.83

Dari Tabel 8 menunjukkan bahwa pada tanah SS₁ dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,00384$ mm/det untuk intensitas hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam menunjukkan waktu mencapai konstan tc lebih cepat, laju infiltrasi konstan fc lebih tinggi, dan waktu akhir infiltrasi te lebih cepat dibandingkan dengan dua sampel tanah lainnya dengan koefisien permeabilitas yang lebih rendah masing-masing tanah SS₂ dengan $kp_2 = 0,0011$ mm/det dan SS-3 dengan $kp_3 = 0,0016$ mm/det. Hal tersebut serupa dengan kondisi pada pengujian pada *running* pertama, dimana juga terjadi fenomena secara logis bahwa angka koefisien permeabilitas yang besar menunjukkan butiran tanah yang lebih besar, celah-celah di antara butiran tersebut juga lebih besar sehingga arah rambat aliran infiltrasi juga lebih besar dan lebih cepat. Akan tetapi terdapat pengaruh tambahan yakni tumbukan hujan yang lebih besar sehingga berakibat terjadinya pemampatan tanah, terjadi pengurangan volume pori, maka pada kondisi kepadatan tanah sesudah hujan pertama terjadi penurunan nilai kapasitas infiltrasi.

3. Intensitas curah hujan $I_{25} = 344,900 \text{ mm/jam}$

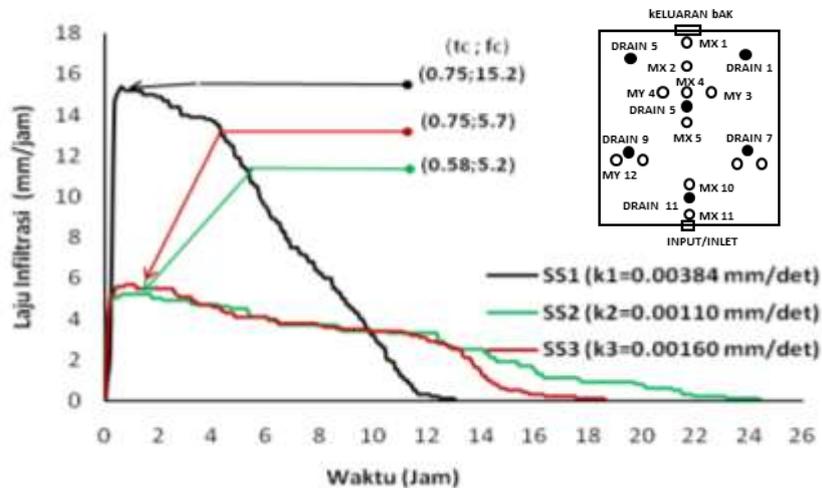
Laju infiltrasi (f) dan kapasitas infiltrasi (f_c) untuk curah hujan $I_{25} = 344,900 \text{ mm/jam}$ dengan masing-masing empat varisai kepadatan ditunjukkan pada Gambar 30 sampai dengan Gambar 33.



Gambar 30. Perbandingan laju infiltrasi pada tiga jenis tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) dengan kepadatan D_1 untuk intensitas hujan I_{25}

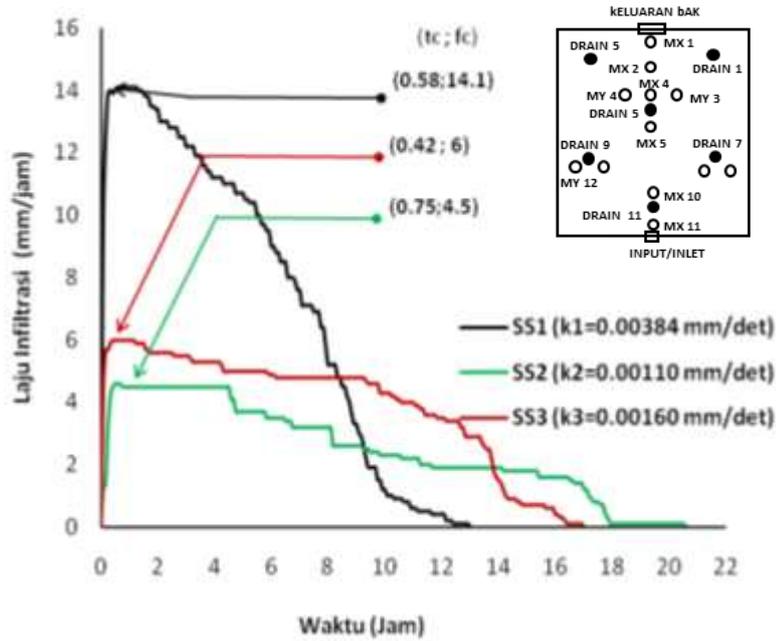
Dari Gambar 30 untuk sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,00384 \text{ mm/det}$, dan kepadatan $D_1 = 64,03 \%$ menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,92 \text{ jam}$ dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 15,6 \text{ mm/jam}$ dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 13,33 \text{ jam}$. Untuk sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas $kp_2 = 0,00110 \text{ mm/det}$, dan kepadatan $D_1 = 62,20 \%$ menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75 \text{ jam}$ dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 6,10 \text{ mm/jam}$ dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 22,58 \text{ jam}$, dan untuk sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas $kp_3 = 0,00160 \text{ mm/det}$, dan kepadatan $D_1 = 63,92 \%$ menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,00 \text{ jam}$ dengan

kapasitas infiltrasi $f_c = 6,6$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 20,92$ jam



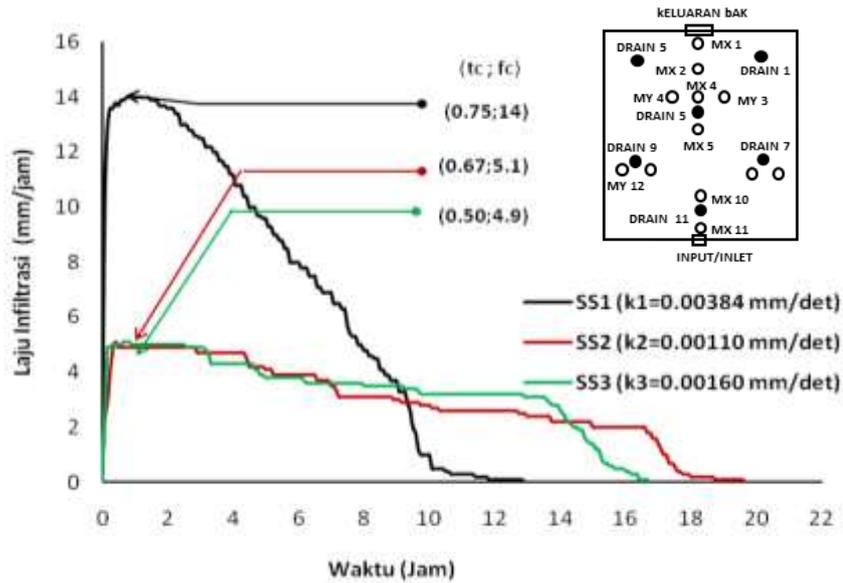
Gambar 31. Perbandingan laju infiltrasi pada tiga jenis tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) dengan kepadatan D_2 untuk intensitas hujan I_{25}

Dari Gambar 31 untuk sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,00384$ mm/det, dan kepadatan $D_2 = 71,67$ % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 15,2$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 8,92$ jam. Untuk sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas $kp_2 = 0,00110$ mm/det, dan kepadatan $D_2 = 76,83$ % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,58$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 5,2$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 13,08$ jam, serta untuk sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas $kp_3 = 0,00160$ mm/det, dan kepadatan $D_2 = 73,65$ % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 5,7$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 12,83$ jam



Gambar 32. Perbandingan laju infiltrasi pada tiga jenis tanah (SS₁, SS₂ dan SS₃) dengan kepadatan D₃ untuk intensitas hujan I₂₅

Dari Gambar 32 untuk sampel tanah satu (SS₁) dengan koefisien permeabilitas $k_{p1} = 0,00384$ mm/det, dan kepadatan $D_3 = 73,08$ % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,58$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 14,1$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 6,67$ jam. Untuk sampel tanah dua (SS₂) dengan koefisien permeabilitas $k_{p2} = 0,00110$ mm/det, dan kepadatan $D_3 = 76,25$ % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 4,5$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 20,58$ jam, dan untuk sampel tanah tiga (SS₃) dengan koefisien permeabilitas $k_{p3} = 0,00160$ mm/det, dan kepadatan $D_3 = 74,48$ % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,42$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 6$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 17,00$ jam.



Gambar 33. Perbandingan laju infiltrasi pada tiga jenis tanah (SS₁, SS₂ dan SS₃) dengan kepadatan D₄ untuk intensitas hujan I₂₅

Dari Gambar 33 untuk sampel tanah satu (SS₁) dengan koefisien permeabilitas $k_{p1} = 0,00384$ mm/det, dan kepadatan $D_4 = 74,16$ % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,42$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 13,1$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 6,08$ jam. Untuk sampel tanah dua (SS₂) dengan koefisien permeabilitas $k_{p2} = 0,00110$ mm/det, dan kepadatan $D_4 = 73,04$ % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,33$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 4,7$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 19,67$ jam, serta untuk sampel tanah tiga (SS₃) dengan koefisien permeabilitas $k_{p3} = 0,00160$ mm/det, dan kepadatan $D_4 = 75,57$ % menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,17$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 5,20$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 16,75$ jam. Rangkuman data hasil amatan sebagaimana diuraikan dari Gambar 30 sampai dengan 33, ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Parameter infiltrasi terhadap pengaruh tiga jenis tanah untuk intensitas I_{25}

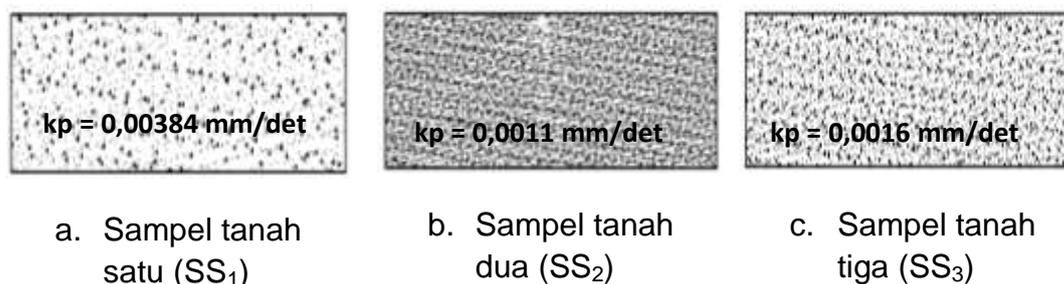
No	Skema	D (%)	I_{25} (mm/jam)	h (mm)	kp (mm/det)	tc (Jam)	fc (mm/Jam)	te (jam)
1	SS1-I25-D1	64.03	344.9	30	0.00384	0.92	15.6	13.33
2	SS2-I25-D1	62.2	344.9	30	0.0011	0.75	6.1	22.58
3	SS3-I25-D1	63.92	344.9	30	0.0016	1.00	6.6	20.92
4	SS1-I25-D2	71.67	344.9	30	0.00384	0.75	15.2	13.08
5	SS2-I25-D2	76.83	344.9	30	0.0011	0.58	5.2	24.42
6	SS3-I25-D2	73.65	344.9	30	0.0016	0.75	5.7	18.67
7	SS1-I25-D3	73.08	344.9	30	0.00384	0.58	14.1	13.00
8	SS2-I25-D3	76.25	344.9	30	0.0011	0.75	4.5	20.58
9	SS3-I25-D3	74.48	344.9	30	0.0016	0.42	6	17.00
10	SS1-I25-D4	74.16	344.9	30	0.00384	0.75	14	12.92
11	SS2-I25-D4	73.04	344.9	30	0.0011	0.50	4.90	19.67
12	SS3-I25-D4	75.57	344.9	30	0.0016	0.67	5.10	16.75

Dari Tabel 9 menunjukkan bahwa untuk intensitas hujan $I_{25} = 344,90$ mm/jam pada tanah dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,00384$ mm/det menunjukkan bahwa nilai fc lebih tinggi dan te yang lebih cepat dibandingkan dengan dua sampel tanah lainnya dengan koefisien permeabilitas yang lebih rendah masing-masing tanah dengan $kp_2 = 0,00110$ mm/det dan $kp_3 = 0,00160$ mm/det, sedangkan waktu untuk mencapai puncak tc ketiga sampel tanah SS_1 , SS_2 dan SS_3 memiliki nilai yang hampir sama, ini disebabkan karena kepadatan tanah akibat pemampatan hujan (D_4) juga memiliki nilai yang hampir sama.

4. Pembahasan dan diskusi

Pada Tabel 7, 8 dan 9 menunjukkan bahwa untuk sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien permeabilitas, $kp_1 = 0,00384$ mm/det yang berarti memiliki gradasi yang paling kasar dibandingkan dengan sampel

tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas, $kp_2 = 0,0011$ mm/det dan sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas, $kp_3 = 0,0016$ mm/det, memperlihatkan kapasitas infiltrasi yang lebih besar. Ini menunjukkan fenomena logis bahwa semakin besar koefisien permeabilitas (semakin besar butiran tanahnya), maka celah-celah diantara butiran tanah semakin besar pula sehingga volumen dan arah rambat airan infiltrasi juga lebih besar dan lebih cepat. Demikian pula fenomena sebaliknya, semakin kecil koefisien permeabilitas tanah (tanah berbutir halus), maka celah-celah diantara butiran pun semakin rapat sehingga volumen dan arah rambat aliran infiltrasi semakin kecil dan lebih lama. Fenomena tersebut dilukiskan pada Gambar 34.



Gambar 34. Ilustrasi Karakteristik Tiga Jenis Sampel tanah

C. Laju dan Kapasitas Infiltrasi Pada Kondisi Tanah Tanpa dan Dengan Menggunakan Akar Pohon

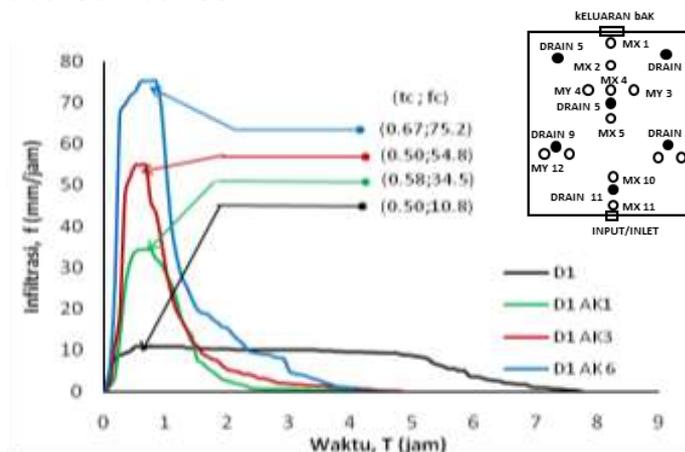
Penyajian data dan analisis laju dan kapasitas infiltrasi pada kondisi tanah tanpa dan dengan menggunakan formasi akar pohon dilakukan secara berturut-turut dengan tiga sampel tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) pada tiga intensitas curah hujan rencana (I_5 , I_{10} dan I_{25}) dengan tiga variasi formasi akar (Ak_1 , Ak_3 , dan Ak_6) dengan masing-masing empat kepadatan

yakni D_1 untuk kepadatan awal sebelum hujan serta D_2 , D_3 dan D_4 untuk kepadatan/pemampatan setelah hujan. Secara berturut-turut disajikan sebagai berikut:

1. **Penyajian data dan analisis laju infiltrasi (f) dan kapasitas infiltrasi (f_c) pada tanah tanpa akar dan dengan formasi akar (Ak_1, Ak_3, Ak_6) Pada Sampel Tanah satu (SS_1)**

a. **Intensitas hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam dengan kepadatan $D_1 = 63,95$ %.**

Untuk sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,00384$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak_1, Ak_3 dan Ak_6) dengan kepadatan $D_1 = 63,95\%$ dengan intensitas hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 35.



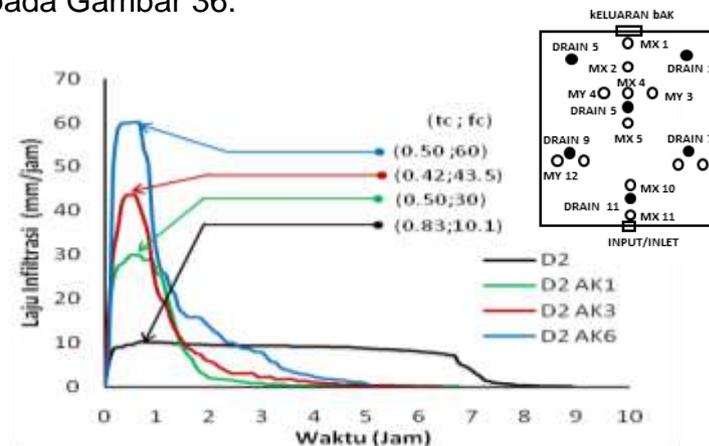
Gambar 35. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1, Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan kepadatan awal (D_1) untuk Intensitas hujan, I_5

Dari Gambar 35 untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,50$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 10,8$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 7,75$ jam. Untuk formasi akar satu menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan t_c

= 0,58 jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 34,5$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 5,17$ jam. Untuk formasi akar tiga menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,50$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 54,8$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 4,83$ jam. Untuk formasi akar enam menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,67$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 75,20$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 4,58$ jam

b. Intensitas curah hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam dengan kepadatan $D_2 = 70,41$ %.

Untuk sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,00384$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak_1, Ak_3 dan Ak_6) dengan kepadatan $D_2 = 70,41\%$ dengan intensitas hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 36.

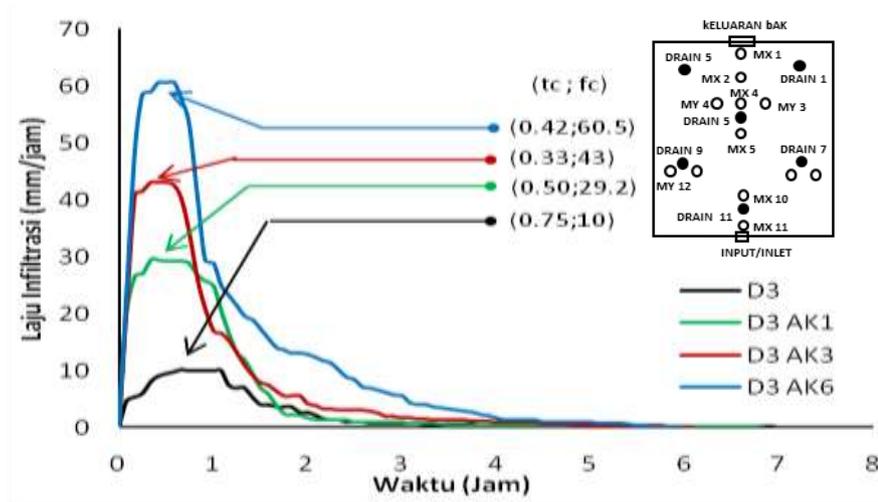


Gambar 36. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1, Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan kepadatan/pemampatan hujan (D_2) untuk Intensitas hujan, I_5

Dari Gambar 36 untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,83$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 10,10$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 8,92$ jam. Untuk formasi akar satu menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,50$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 30$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 6,75$ jam. Untuk formasi akar tiga menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,42$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 43,50$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 6,42$ jam. Untuk formasi akar enam menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,50$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 50$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 5,83$ jam.

c. Intensitas hujan $I_5 = 246,84$ mm/jam dengan kepadatan $D_3 = 71,01$ %.

Untuk sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,00384$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk kepadatan $D_3 = 71,01\%$ dengan intensitas hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 37. Pada gambar tersebut terlihat bahwa untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 10$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 7,00$ jam. Untuk formasi akar satu menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,50$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 29,2$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 6,83$ jam.



Gambar 37. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 , Ak_6) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan kepadatan/pemampatan hujan (D_3) untuk Intensitas hujan, I_5

Untuk formasi akar tiga menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,33$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 43$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 6,08$ jam. Untuk formasi akar enam menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,42$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 60,5$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 6,00$ jam

d. Intensitas hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam dengan kepadatan $D_4 = 71,57$ %.

Untuk sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,00384$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk kepadatan $D_4 = 71,57\%$ dengan intensitas hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 38.

Tabel 10. Parameter Infiltrasi Terhadap Pengaruh Akar untuk Sampel Tanah satu (SS₁) Intensitas I₅

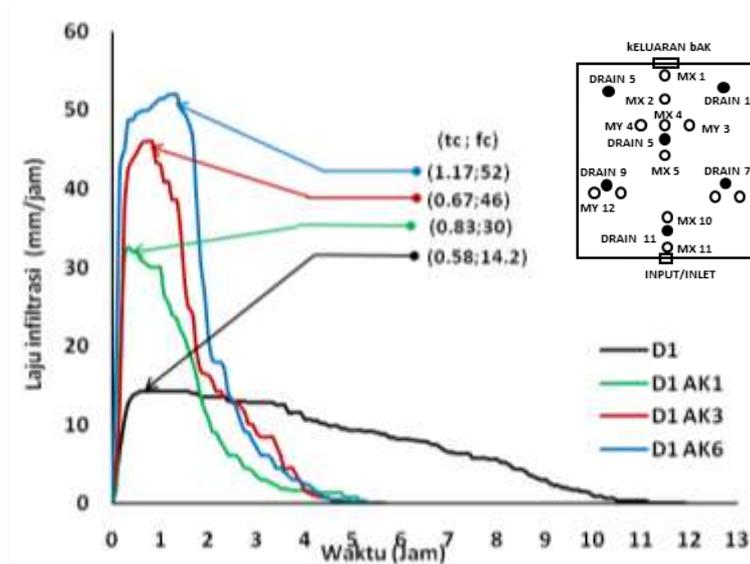
No	Sampel	Skema	D (%)	I ₅ (mm/jam)	h (mm)	ρ	kp (mm/det)	tc (Jam)	fc (mm/Jam)	te (Jam)	Keterangan
1	SS-1	SS1-I5-D1	63.95	246.841	30	-	0.00384	0.50	10.8	7.75	Klasifikasi Tanah SS1 : AASHTO = A-2-5
2	SS-1	SS1-I5-D1-AK1	63.95	246.841	30	0.015	0.00384	0.58	34.5	5.17	
3	SS-1	SS1-I5-D1-AK3	63.95	246.841	30	0.039	0.00384	0.50	54.8	4.83	
4	SS-1	SS1-I5-D1-AK6	63.95	246.841	30	0.075	0.00384	0.67	75.2	4.58	
1	SS-1	SS1-I5-D2	70.41	246.841	30	-	0.00384	0.83	10.1	8.92	
2	SS-1	SS1-I5-D2-AK1	70.41	246.841	30	0.015	0.00384	0.50	30	6.75	
3	SS-1	SS1-I5-D2-AK3	70.41	246.841	30	0.039	0.00384	0.42	43.5	6.42	
4	SS-1	SS1-I5-D2-AK6	70.41	246.841	30	0.075	0.00384	0.50	60	5.83	
1	SS-1	SS1-I5-D3	70.01	246.841	30	-	0.00384	0.75	10	7.00	
2	SS-1	SS1-I5-D3-AK1	70.01	246.841	30	0.015	0.00384	0.50	29.2	6.83	
3	SS-1	SS1-I5-D3-AK3	70.01	246.841	30	0.039	0.00384	0.33	43	6.08	
4	SS-1	SS1-I5-D3-AK6	70.01	246.841	30	0.075	0.00384	0.42	60.5	6.00	
1	SS-1	SS1-I5-D4	71.57	246.841	30	-	0.00384	0.25	10	8.58	
2	SS-1	SS1-I5-D4-AK1	71.57	246.841	30	0.015	0.00384	0.83	29.6	7.67	
3	SS-1	SS1-I5-D4-AK3	71.57	246.841	30	0.039	0.00384	0.33	42.5	6.83	
4	SS-1	SS1-I5-D4-AK6	71.57	246.841	30	0.075	0.00384	0.75	60	6.08	

Dari Tabel 10 menunjukkan bahwa pada sampel tanah SS₁ dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,00384$ mm/det untuk intensitas hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam, kepadatan $D_1 = 63,95$ % pada kondisi formasi Ak₁, Ak₃ dan Ak₆ menunjukkan waktu mencapai konstan tc relatif sama, laju infiltrasi konstan fc semakin meningkat, ini berarti bahwa penambahan formasi akar pohon mempunyai pengaruh yang cukup signifikan, sedangkan waktu akhir infiltrasi te semakin cepat. Fenomena yang sama juga terjadi pada kepadatan $D_2 = 70,41$ %, $D_3 = 70,01$ %, dan $D_4 = 71,57$ % pada kondisi formasi Ak₁, Ak₃, dan Ak₆.

e. Intensitas hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam dengan kepadatan $D_1 = 63,23$ %.

Untuk sampel tanah satu (SS₁) dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,00384$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi fc (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak₁, Ak₃ dan Ak₆) untuk

kepadatan $D_1 = 63,23 \%$ dengan intensitas hujan $I_{10} = 290,335 \text{ mm/jam}$ ditunjukkan pada Gambar 39.

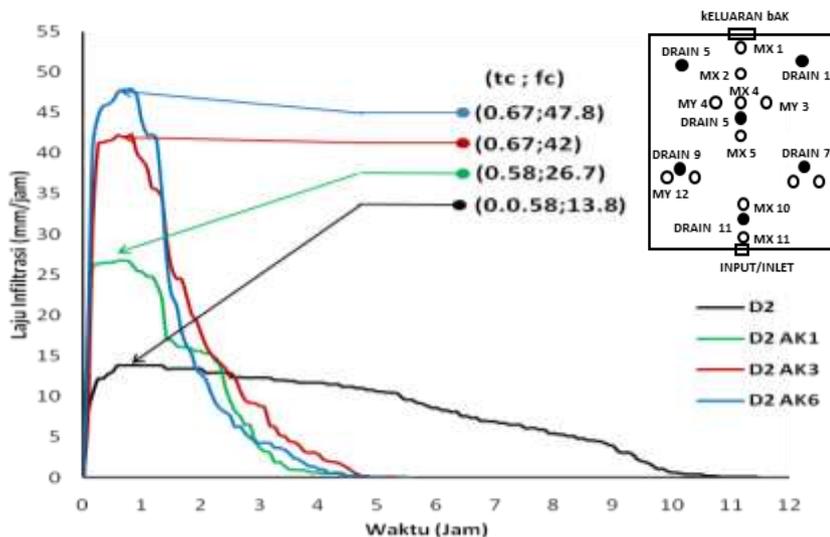


Gambar 39. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 , Ak_6) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan kepadatan awal (D_1) dengan Intensitas hujan, I_{10}

Dari Gambar 39 untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,58 \text{ jam}$ dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 14,2 \text{ mm/jam}$ dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 11,92 \text{ jam}$. Untuk formasi akar satu (Ak_1) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,83 \text{ jam}$ dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 30 \text{ mm/jam}$ dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 5,67 \text{ jam}$. Untuk formasi akar tiga (Ak_3) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,67 \text{ jam}$ dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 46 \text{ mm/jam}$ dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 5,25 \text{ jam}$. Untuk formasi akar enam (Ak_6) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,17 \text{ jam}$ dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 52 \text{ mm/jam}$ dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 5,50 \text{ jam}$.

f. Intensitas hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam dengan kepadatan $D_2 = 70,59$ %.

Untuk sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,00384$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi fc (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk kepadatan $D_2 = 70,59$ % dengan intensitas hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 40.



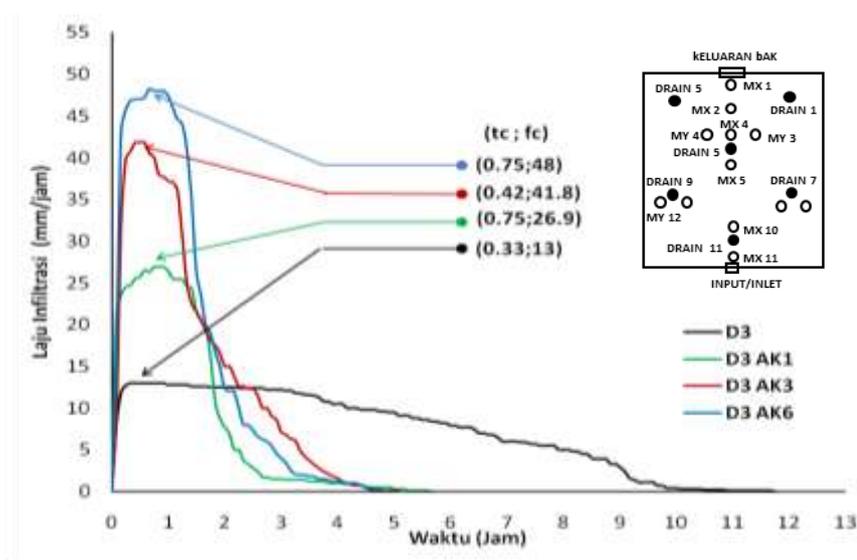
Gambar 40. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan kepadatan/pemampatan hujan (D_2) untuk Intensitas hujan, I_{10}

Dari Gambar 40 untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,58$ jam dengan kapasitas infiltrasi $fc = 13,80$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 11,50$ jam. Untuk formasi akar satu menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,58$ jam dengan kapasitas infiltrasi $fc = 26,70$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 5,58$ jam. Untuk formasi akar tiga menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,67$ jam dengan kapasitas infiltrasi $fc = 42$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi

te = 5,33 jam. Untuk formasi akar enam menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan tc = 0,67 jam dengan kapasitas infiltrasi fc = 47,8 mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi te = 5,17 jam

g. Intensitas hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam dengan kepadatan $D_3 = 70,94$ %.

Untuk sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,000384$ cm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi fc (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk kepadatan $D_3 = 70,94$ % dengan intensitas hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 41.



Gambar 41. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan kepadatan/pemampatan hujan, (D_3) untuk Intensitas hujan, I_{10}

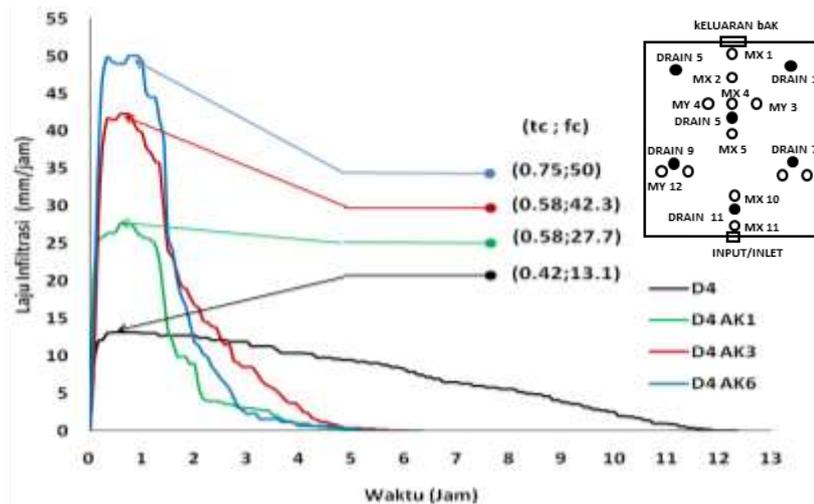
Dari Gambar 41 untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan tc = 0,33 jam dengan kapasitas infiltrasi fc = 13 mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi te = 11,75 jam.

Untuk formasi akar satu (Ak_1) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 26,90$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 5,67$ jam. Untuk formasi akar tiga (Ak_3) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,42$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 41,8$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 5,08$ jam. Untuk formasi akar enam (Ak_6) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 48$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 4,92$ jam

h. Intensitas hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam dengan kepadatan $D_4 = 71,79$ %.

Untuk sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien permeabilitas $k_{p1} = 0,00384$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk kepadatan $D_4 = 71,79$ % dengan intensitas hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 42.

Pada Gambar 42 tersebut terlihat bahwa untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,42$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 13,1$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 12,33$ jam. Untuk formasi akar satu (Ak_1) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,58$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 27,7$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 6,33$ jam. Untuk formasi akar tiga (Ak_3) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,58$ jam



Gambar 42. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan kepadatan/pemampatan hujan (D_4) untuk Intensitas hujan, I_{10}

dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 42,3$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 6,08$ jam. Untuk formasi akar enam (Ak_6) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 50$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 5,67$ jam. Rangkuman dari uraian pada Gambar 39 sampai dengan 42 ditampilkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Parameter Infiltrasi Terhadap Pengaruh Akar untuk Sampel Tanah satu (SS_1) Intensitas I_{10}

No Sampel	Skema	D (%)	I_{10} (mm/jam)	h (mm)	ρ	kp (mm/det)	t_c (Jam)	f_c (mm/Jam)	t_e (Jam)	Keterangan
1	SS-1 SS1-I10-D1	63.23	290.335	30	-	0.00384	0.58	14.2	11.92	Klasifikasi Tanah SS1 : AASHTO = A-2-5
2	SS-1 SS1-I10-D1-AK1	63.23	290.335	30	0.015	0.00384	0.83	30	5.67	
3	SS-1 SS1-I10-D1-AK3	63.23	290.335	30	0.039	0.00384	0.67	46	5.58	
4	SS-1 SS1-I10-D1-AK6	63.23	290.335	30	0.075	0.00384	1.17	52	5.50	
5	SS-1 SS1-I10-D2	70.59	290.335	30	-	0.00384	0.58	13.80	11.50	
6	SS-1 SS1-I10-D2-AK1	70.59	290.335	30	0.015	0.00384	0.58	26.70	5.58	
7	SS-1 SS1-I10-D2-AK3	70.59	290.335	30	0.039	0.00384	0.67	42	5.33	
8	SS-1 SS1-I10-D2-AK6	70.59	290.335	30	0.075	0.00384	0.67	47.8	5.17	
9	SS-1 SS1-I10-D3	70.94	290.335	30	-	0.00384	0.33	13	11.75	
10	SS-1 SS1-I10-D3-AK1	70.94	290.335	30	0.015	0.00384	0.75	26.9	5.67	
11	SS-1 SS1-I10-D3-AK3	70.94	290.335	30	0.039	0.00384	0.42	41.8	5.08	
12	SS-1 SS1-I10-D3-AK6	70.94	290.335	30	0.075	0.00384	0.75	48	4.92	
13	SS-1 SS1-I10-D4	71.79	290.335	30	-	0.00384	0.42	13.1	12.33	
14	SS-1 SS1-I10-D4-AK1	71.79	290.335	30	0.015	0.00384	0.58	27.7	6.33	
15	SS-1 SS1-I10-D4-AK3	71.79	290.335	30	0.039	0.00384	0.58	42.3	6.08	
16	SS-1 SS1-I10-D4-AK6	71.79	290.335	30	0.075	0.00384	0.75	50	5.67	

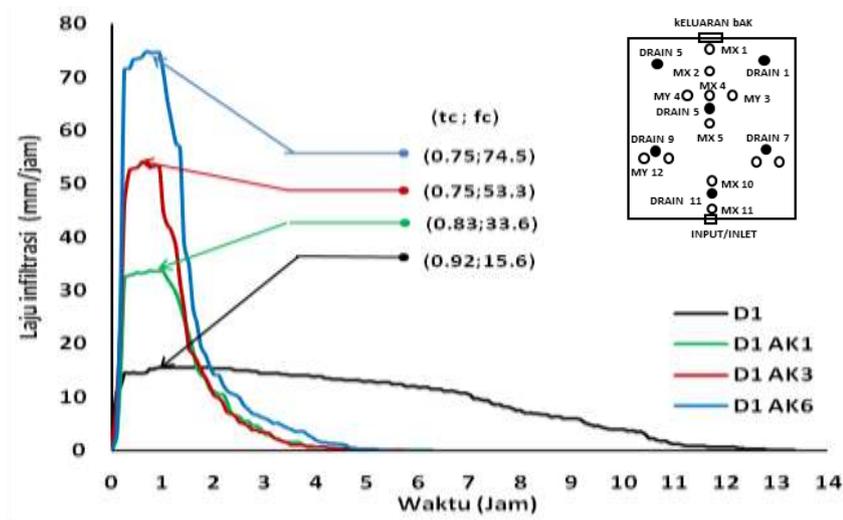
Dari Tabel 11 menunjukkan bahwa pada sampel tanah SS_1 dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,00384$ mm/det untuk intensitas hujan $I_{10} = 246,841$ mm/jam, kepadatan $D_1 = 63,23\%$ pada kondisi formasi Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6 menunjukkan waktu mencapai konstan t_c variatif, laju infiltrasi konstan f_c semakin meningkat, ini berarti bahwa penambahan formasi akar pohon mempunyai pengaruh yang cukup signifikan, sedangkan waktu akhir infiltrasi t_e semakin cepat. Fenomena yang sama juga terjadi pada kepadatan $D_2 = 70,59\%$, $D_3 = 70,94\%$, dan $D_4 = 71,79\%$ pada kondisi formasi Ak_1 , Ak_3 , dan Ak_6 .

i. Intensitas hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam dengan kepadatan $D_1 = 64,03\%$.

Untuk sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,00384$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk kepadatan $D_1 = 64,03\%$ dengan intensitas hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 43.

Pada Gambar 43 tersebut terlihat bahwa untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,92$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 15,6$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 13,33$ jam. Untuk formasi akar satu (Ak_1) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,83$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 33,6$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 6,25$ jam. Untuk formasi akar tiga (Ak_3) menunjukkan bahwa waktu

mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 53,3$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya



Gambar 43. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan kepadatan awal (D_1) dengan Intensitas hujan, I_{25}

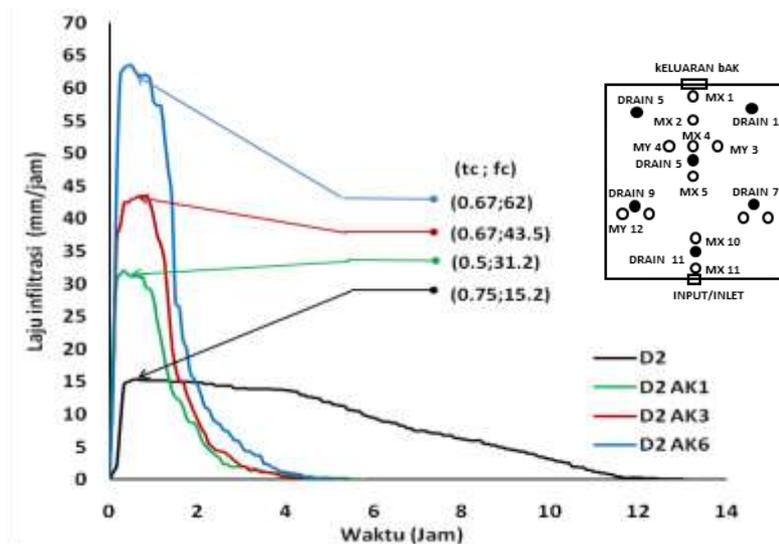
infiltrasi $t_e = 5,67$ jam. Untuk formasi akar enam (Ak_6) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 74,5$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 5,50$ jam

j. Intensitas hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam dengan kepadatan $D_2 = 71,67$ %.

Untuk sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,00384$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk kepadatan $D_2 = 71,67$ % dengan intensitas hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 44.

Pada Gambar 44 tersebut terlihat bahwa untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam

dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 15,2$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya

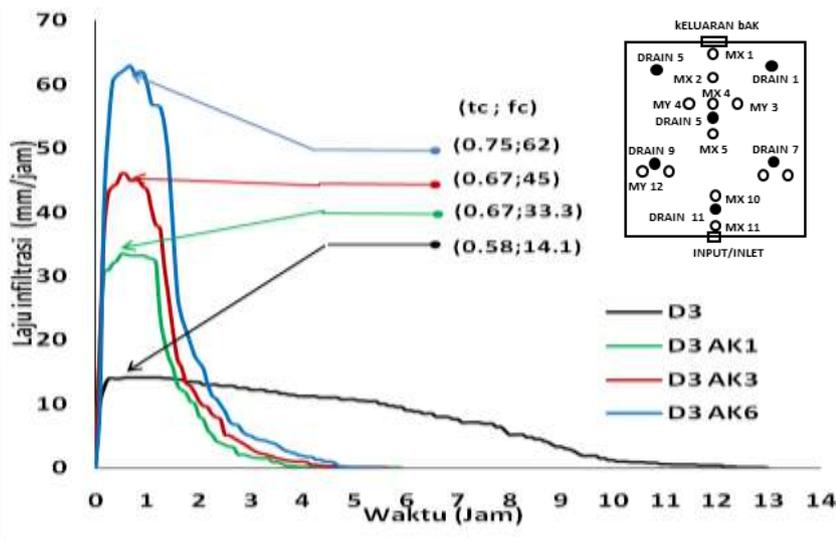


Gambar 44. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan kepadatan/pemampatan hujan (D_2) untuk Intensitas hujan, I_{25}

infiltrasi $t_e = 13,08$ jam. Untuk formasi akar satu (Ak_1) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,50$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 31,2$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 5,75$ jam. Untuk formasi akar tiga (Ak_3) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,67$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 43,5$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 5,42$ jam. Untuk formasi akar enam (Ak_6) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,67$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 62$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 5,33$ jam

k. Intensitas hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam dengan kepadatan $D_3 = 73,08$ %.

Untuk sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,00384$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi fc (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk kepadatan $D_3 = 73,08$ % dengan intensitas hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 45.



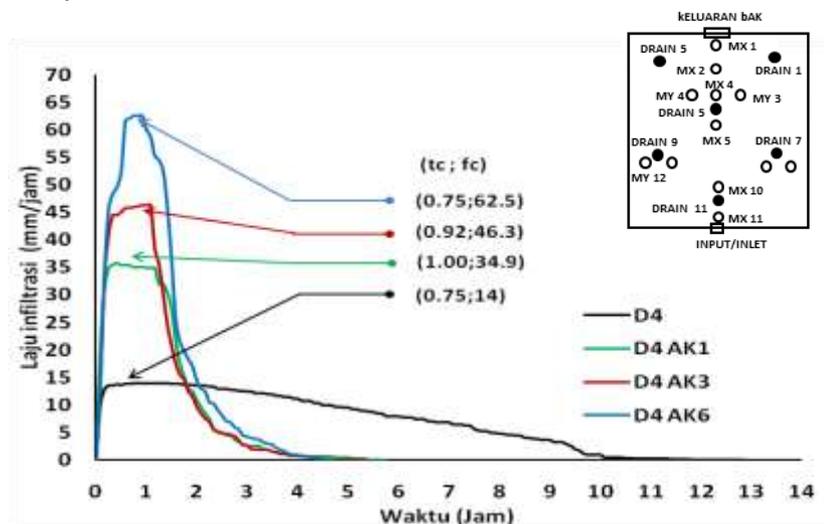
Gambar 45. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 , Ak_6) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan kepadatan/pemampatan hujan (D_3) untuk Intensitas hujan, I_{25}

Dari Gambar 45 untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,58$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 14,1$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 13,00$ jam. Untuk formasi akar satu (Ak_1) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,67$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 33,3$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 5,67$ jam. Untuk formasi akar tiga (Ak_3) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,67$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 45$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 5,42$ jam. Untuk formasi akar enam (Ak_6) menunjukkan bahwa waktu

mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 62$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 5,50$ jam

I. Intensitas hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam dengan kepadatan $D_4 = 74,16$ %.

Untuk sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien permeabilitas $k_{p1} = 0,00384$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kepadatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk kepadatan $D_4 = 74,16$ % dengan intensitas hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 46.



Gambar 46. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kepadatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan kepadatan/pemampatan hujan (D_4) untuk Intensitas hujan, I_{25}

Dari Gambar 46 untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,92$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 15,6$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 12,92$ jam. Untuk formasi akar satu (Ak_1) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,00$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 34,9$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 5,75$ jam. Untuk formasi akar tiga

(Ak₃) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,92$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 46,3$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 5,42$ jam. Untuk formasi akar enam (Ak₆) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 62,5$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 4,75$ jam. Rangkuman dari uraian pada Gambar 43 sampai dengan 46 ditunjukkan pada Tabel 12.

Tabel 12. Parameter Infiltrasi Terhadap Pengaruh Akar untuk Sampel Tanah satu (SS₁) Intensitas I_{25}

No	Sampel	Skema	D (%)	I_{25} (mm/jam)	h (mm)	ρ	kp (mm/det)	t_c (Jam)	f_c (mm/Jam)	t_e (Jam)	Keterangan
1	SS-1	SS1-I25-D1	64.03	344.9	30	-	0.00384	0.92	15.6	13.33	Klasifikasi Tanah SS1 : AASHTO = A-2-5
2	SS-1	SS1-I25-D1-AK1	64.03	344.9	30	0.015	0.00384	0.83	33.6	6.25	
3	SS-1	SS1-I25-D1-AK3	64.03	344.9	30	0.039	0.00384	0.75	53.3	5.67	
4	SS-1	SS1-I25-D1-AK6	64.03	344.9	30	0.075	0.00384	0.75	74.5	5.50	
5	SS-1	SS1-I25-D2	64.49	344.9	30	-	0.00384	0.75	15.2	13.08	
6	SS-1	SS1-I25-D2-AK1	64.49	344.9	30	0.015	0.00384	0.50	31.2	5.75	
7	SS-1	SS1-I25-D2-AK3	64.49	344.9	30	0.039	0.00384	0.67	43.5	5.42	
8	SS-1	SS1-I25-D2-AK6	64.49	344.9	30	0.075	0.00384	0.67	62	5.33	
9	SS-1	SS1-I25-D3	73.08	344.9	30	-	0.00384	0.58	14.1	13.00	
10	SS-1	SS1-I25-D3-AK1	73.08	344.9	30	0.015	0.00384	0.67	33.3	5.92	
11	SS-1	SS1-I25-D3-AK3	73.08	344.9	30	0.039	0.00384	0.67	45	5.67	
12	SS-1	SS1-I25-D3-AK6	73.08	344.9	30	0.075	0.00384	0.75	62	5.50	
13	SS-1	SS1-I25-D4	74.16	344.9	30	-	0.00384	0.92	15.6	12.92	
14	SS-1	SS1-I25-D4-AK1	74.16	344.9	30	0.015	0.00384	1.00	34.9	5.75	
15	SS-1	SS1-I25-D4-AK3	74.16	344.9	30	0.039	0.00384	0.92	46.3	5.42	
16	SS-1	SS1-I25-D4-AK6	74.16	344.9	30	0.075	0.00384	0.75	62.5	4.75	

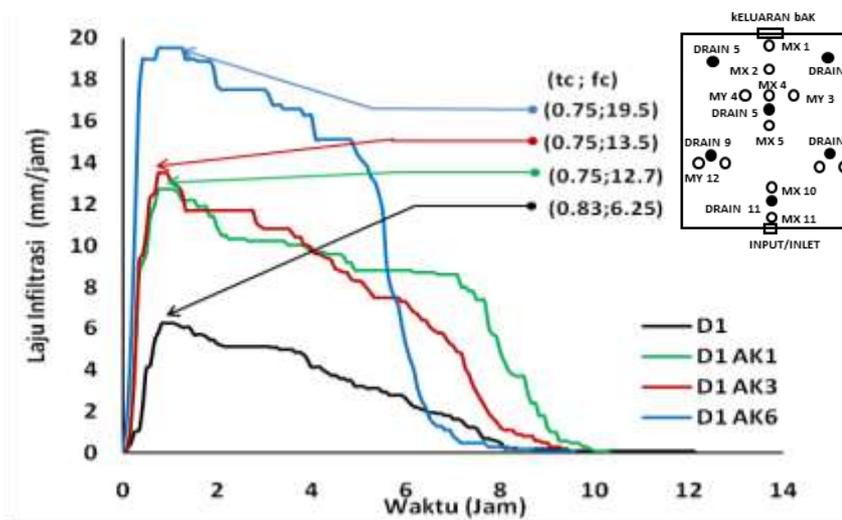
Dari Tabel 12 menunjukkan bahwa pada sampel tanah SS₁ dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,000384$ cm/det untuk intensitas hujan $I_{25} = 344,90$ mm/jam, kepadatan $D_1 = 64,03$ % pada kondisi formasi Ak₁, Ak₃ dan Ak₆ menunjukkan waktu mencapai konstan t_c relatif sama, laju infiltrasi konstan f_c semakin meningkat, ini berarti bahwa penambahan formasi akar pohon mempunyai pengaruh yang cukup signifikan,

sedangkan waktu akhir infiltrasi t_e semakin cepat. Fenomena yang sama juga terjadi pada kepadatan $D_2 = 64,49 \%$, $D_3 = 73,08 \%$, dan $D_4 = 74,16 \%$ pada kondisi formasi Ak_1 , Ak_3 , dan Ak_6 .

2. Penyajian data dan analisis laju infiltrasi (f) dan kapasitas infiltrasi (f_c) dengan formasi akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Pada Sampel Tanah Dua (SS_2)

a. Intensitas hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam dengan kepadatan $D_1 = 63,85 \%$.

Untuk sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas $k_{p2} = 0,0011$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk kepadatan $D_1 = 63,85 \%$ dengan intensitas hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 47.



Gambar 47. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah dua (SS_2) dengan kepadatan awal (D_1) untuk Intensitas hujan, I_5

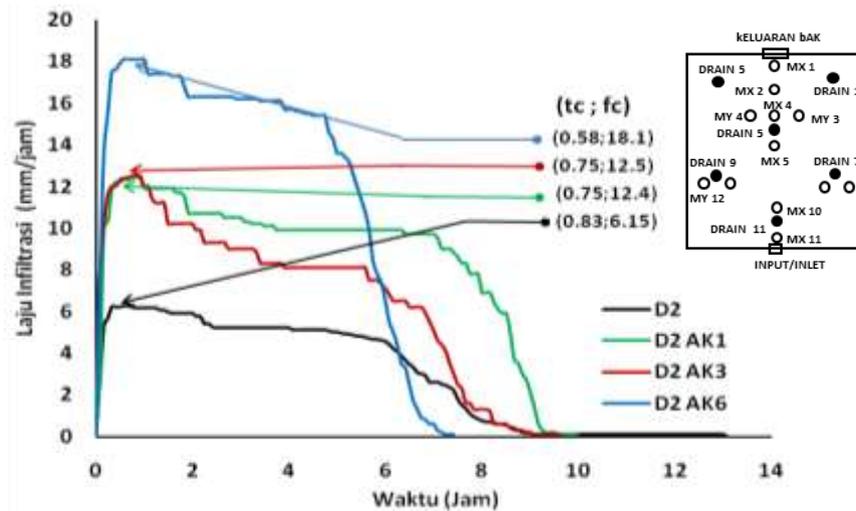
Dari Gambar 47 untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,83$ jam dengan kapasitas infiltrasi

$f_c = 6,25$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 12,17$ jam. Untuk formasi akar satu (A_{k_1}) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 12,7$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 10,33$ jam. Untuk formasi akar tiga (A_{k_3}) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 13,5$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 10,08$ jam. Untuk formasi akar enam (A_{k_6}) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 19,5$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 9,58$ jam

b. Intensitas hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam dengan kepadatan $D_2 = 65,81$ %.

Untuk sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas $kp_2 = 0,0011$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (A_{k_1} , A_{k_3} dan A_{k_6}) untuk kepadatan $D_2 = 65,81$ % dengan intensitas hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 48.

Pada Gambar 48 tersebut terlihat bahwa untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,83$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 6,15$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 13,08$ jam. Untuk formasi akar satu (A_{k_1}) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 12,50$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 10,00$ jam. dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 12,50$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 9,67$ jam.



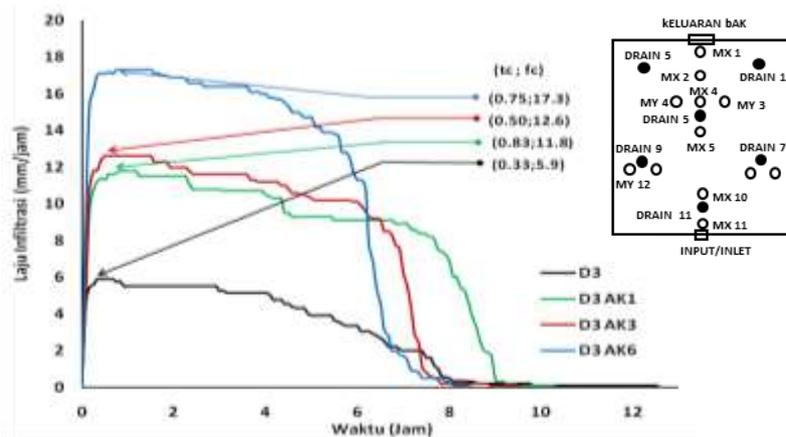
Gambar 48. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah dua (SS_2) dengan kepadatan/pemampatan hujan (D_2) untuk Intensitas hujan, I_5

Untuk formasi akar enam (Ak_6) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,58$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 18,10$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 8,58$ jam

c. Intensitas hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam dengan kepadatan $D_3 = 71,39$ %.

Untuk sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas $k_{p2} = 0,0011$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk kepadatan $D_3 = 71,39$ % dengan intensitas hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 49.

Dari Gambar 49 untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,33$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 5,9$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 11,00$ jam.

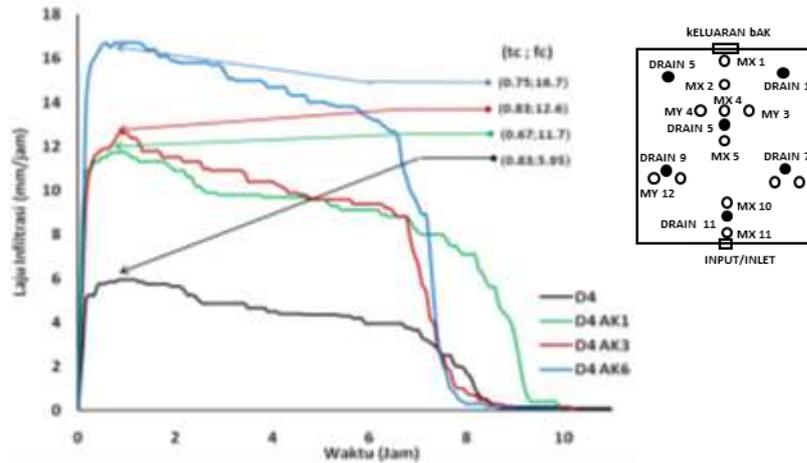


Gambar 49. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah dua (SS_2) dengan kepadatan/pemampatan hujan (D_3) untuk Intensitas hujan, I_5

Untuk formasi akar satu (Ak_1) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,83$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 11,8$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 10,33$ jam. Untuk formasi akar tiga (Ak_3) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 12,6$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 9,58$ jam. Untuk formasi akar enam (Ak_6) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 17,3$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 8,50$ jam

d. Intensitas hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam dengan kepadatan $D_4 = 69,83$ %.

Untuk sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas $kp_2 = 0,0011$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk kepadatan $D_4 = 69,83$ % dengan intensitas hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 50.



Gambar 50. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah dua (SS_2) dengan kepadatan/pemampatan hujan (D_4) untuk Intensitas hujan, I_5

Dari Gambar 50 untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,83$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 5,95$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 10,67$ jam. Untuk formasi akar satu (Ak_1) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,67$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 11,7$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 10,17$ jam. Untuk formasi akar tiga (Ak_3) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,83$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 12,6$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 10,25$ jam. Untuk formasi akar enam (Ak_6) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 16,7$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 9,92$ jam. Rangkuman data yang diuraikan berdasarkan Gambar 47 sampai dengan 50 dirangkum dalam Tabel 13.

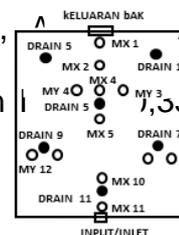
Tabel 13. Parameter Infiltrasi Terhadap Pengaruh Akar untuk Sampel Tanah dua (SS_2) Intensitas I_5

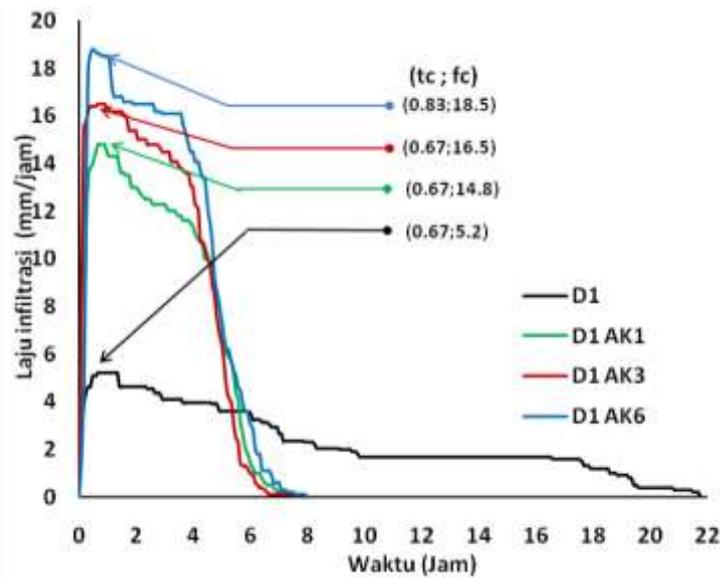
No	Sampel	Skema	D (%)	I_5 (mm/jam)	h (mm)	ρ	kp (mm/det)	tc (Jam)	fc (mm/Jam)	te (Jam)	Keterangan
1	SS-2	SS2-I5-D1	61.51	246.841	30	-	0.0011	0.83	6.25	12.17	Klasifikasi Tanah SS2 : AASHTO = A-2-4
2	SS-2	SS2-I5-D1-AK1	61.51	246.841	30	0.015	0.0011	0.75	12.7	10.33	
3	SS-2	SS2-I5-D1-AK3	61.51	246.841	30	0.039	0.0011	0.75	13.5	10.08	
4	SS-2	SS2-I5-D1-AK6	61.51	246.841	30	0.075	0.0011	0.75	19.5	9.58	
5	SS-2	SS2-I5-D2	65.81	246.841	30	-	0.0011	0.83	6.15	13.08	
6	SS-2	SS2-I5-D2-AK1	65.81	246.841	30	0.015	0.0011	0.75	12.50	10.00	
7	SS-2	SS2-I5-D2-AK3	65.81	246.841	30	0.039	0.0011	0.75	12.50	9.67	
8	SS-2	SS2-I5-D2-AK6	65.81	246.841	30	0.075	0.0011	0.58	18.10	8.58	
9	SS-2	SS2-I5-D3	71.39	246.841	30	-	0.0011	0.33	5.9	12.58	
10	SS-2	SS2-I5-D3-AK1	71.39	246.841	30	0.015	0.0011	0.83	11.8	10.33	
11	SS-2	SS2-I5-D3-AK3	71.39	246.841	30	0.039	0.0011	0.75	12.6	9.58	
12	SS-2	SS2-I5-D3-AK6	71.39	246.841	30	0.075	0.0011	0.75	17.3	8.50	
13	SS-2	SS2-I5-D4	69.83	246.841	30	-	0.0011	0.83	5.95	10.67	
14	SS-2	SS2-I5-D4-AK1	69.83	246.841	30	0.015	0.0011	0.67	11.70	10.17	
15	SS-2	SS2-I5-D4-AK3	69.83	246.841	30	0.039	0.0011	0.83	12.60	10.25	
16	SS-2	SS2-I5-D4-AK6	69.83	246.841	30	0.075	0.0011	0.75	16.70	9.92	

Dari Tabel 13 menunjukkan bahwa pada sampel tanah SS₂ dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,0011$ mm/det untuk intensitas hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam, kepadatan $D_1 = 61,51$ % pada kondisi formasi Ak₁, Ak₃ dan Ak₆ menunjukkan waktu mencapai konstan tc relatif sama, laju infiltrasi konstan fc semakin meningkat, ini berarti bahwa penambahan formasi akar pohon mempunyai pengaruh yang cukup signifikan, sedangkan waktu akhir infiltrasi te semakin cepat. Fenomena yang sama juga terjadi pada kepadatan $D_2 = 65,81$ %, $D_3 = 71,90$ %, dan $D_4 = 69,83$ % pada kondisi formasi Ak₁, Ak₃, dan Ak₆.

e. Intensitas hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam dengan kepadatan $D_1 = 62,70$ %.

Untuk sampel tanah dua (SS₂) dengan koefisien permeabilitas $kp_2 = 0,0011$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi fc (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak₁, Ak₃, Ak₆) untuk kepadatan $D_1 = 62,70$ % dengan intensitas hujan $I_{10} = 290,330$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 51.



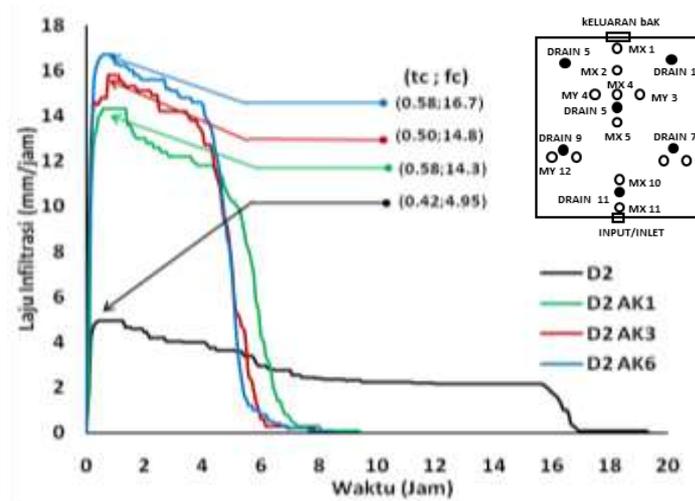


Gambar 51. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah dua (SS_2) dengan kepadatan awal (D_1) untuk Intensitas hujan I_{10}

Dari Gambar 51 untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,67$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 5,2$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 21,75$ jam. Untuk formasi akar satu (Ak_1) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,67$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 14,8$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 8,58$ jam. Untuk formasi akar tiga (Ak_3) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,67$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 16,5$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 8,00$ jam. Untuk formasi akar enam (Ak_6) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,83$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 18,5$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 8,00$ jam

f. Intensitas hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam dengan kepadatan $D_2 = 71,24$ %.

Untuk sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas $kp_2 = 0,0011$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi fc (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk kepadatan $D_2 = 71,24$ % dengan intensitas hujan $I_{10} = 290,330$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 52.



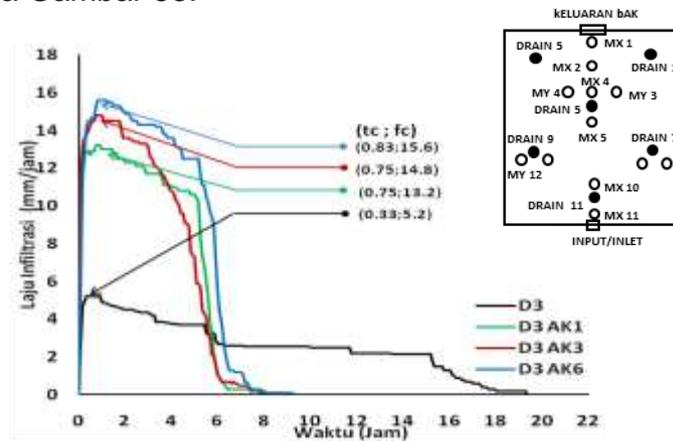
Gambar 52. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah dua (SS_2) dengan kepadatan/pemampatan hujan (D_2) untuk Intensitas hujan, I_{10}

Dari Gambar 52 untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,33$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 4,95$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 19,42$ jam. Untuk formasi akar satu (Ak_1) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,58$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 14,30$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 9,42$ jam. Untuk formasi akar tiga (Ak_3) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,50$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 14,8$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 9,00$ jam. Untuk formasi akar enam (Ak_6) menunjukkan bahwa waktu

mencapai konstan $t_c = 0,58$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 16,70$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 8,50$ jam

g. Intensitas hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam dengan kepadatan $D_3 = 70,32$ %.

Untuk sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas $k_{p2} = 0,0011$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk kepadatan $D_3 = 70,32$ % dengan intensitas hujan $I_{10} = 290,330$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 53.



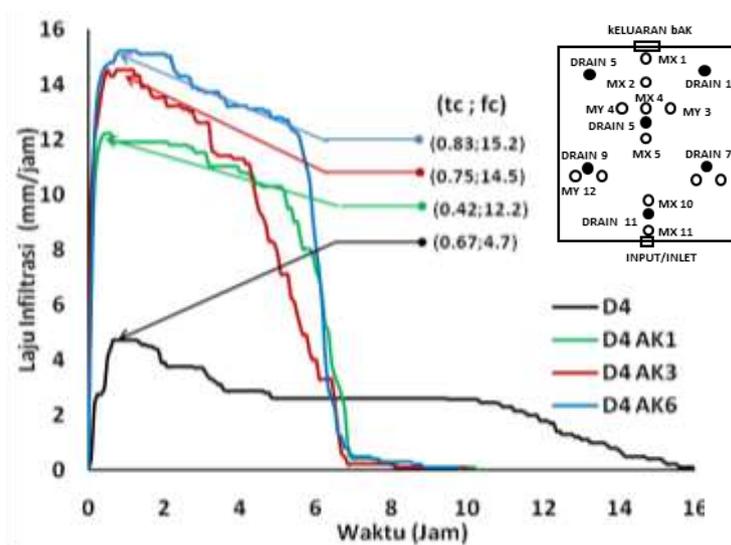
Gambar 53. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah dua (SS_2) dengan kepadatan/pemampatan hujan (D_3) untuk Intensitas hujan, I_{10}

Dari Gambar 53 untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,33$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 5,2$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 19,33$ jam. Untuk formasi akar satu (Ak_1) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 13,2$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 9,58$ jam. Untuk formasi akar tiga

(Ak₃) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 14,8$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 9,33$ jam. Untuk formasi akar enam (Ak₆) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,83$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 15,6$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 9,33$ jam

h. Intensitas hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam dengan kepadatan $D_4 = 75,12$ %.

Untuk sampel tanah dua (SS₂) dengan koefisien permeabilitas $k_{p2} = 0,0011$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak₁, Ak₃ dan Ak₆) untuk kepadatan $D_4 = 75,12$ % dengan intensitas hujan $I_{10} = 290,330$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 54.



Gambar 54. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak₁, Ak₃ dan Ak₆) pada sampel tanah dua (SS₂) dengan kepadatan/pemampatan hujan (D₄) untuk Intensitas hujan I_{10}

Dari Gambar 54 untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,67$ jam dengan kapasitas infiltrasi

$f_c = 4,7$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 15,75$ jam. Untuk formasi akar satu (Ak_1) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,42$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 12,2$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 10,25$ jam. Untuk formasi akar tiga (Ak_3) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 14,5$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 10,00$ jam. Untuk formasi akar enam (Ak_6) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,83$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 15,2$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 9,83$ jam. Rangkuman dari data yang diuraikan pada Gambar 51 sampai dengan 54 ditunjukkan pada Tabel 14.

Tabel 14. Parameter Infiltrasi Terhadap Pengaruh Akar untuk Sampel Tanah dua (SS_2) Intensitas I_{10}

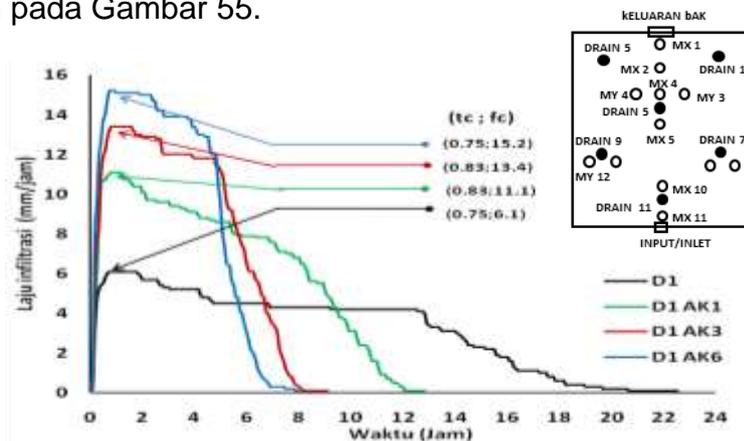
No	Sampel	Skema	D (%)	I_{10} (mm/jam)	h (mm)	ρ	kp (mm/det)	t_c (Jam)	f_c (mm/Jam)	t_e (Jam)	Keterangan
1	SS-2	SS2-I10-D1	62.7	290.335	30	-	0.0011	0.67	5.2	21.75	Klasifikasi Tanah SS ₂ : AASHTO = A-2-4
2	SS-2	SS2-I10-D1-AK1	62.7	290.335	30	0.015	0.0011	0.67	14.8	8.58	
3	SS-2	SS2-I10-D1-AK3	62.7	290.335	30	0.039	0.0011	0.67	16.5	8.00	
4	SS-2	SS2-I10-D1-AK6	62.7	290.335	30	0.075	0.0011	0.83	18.5	8.00	
5	SS-2	SS2-I10-D2	71.24	290.335	30	-	0.0011	0.33	4.95	19.42	
6	SS-2	SS2-I10-D2-AK1	71.24	290.335	30	0.015	0.0011	0.58	14.30	9.42	
7	SS-2	SS2-I10-D2-AK3	71.24	290.335	30	0.039	0.0011	0.50	14.80	9.00	
8	SS-2	SS2-I10-D2-AK6	71.24	290.335	30	0.075	0.0011	0.58	16.70	8.50	
9	SS-2	SS2-I10-D3	70.32	290.335	30	-	0.0011	0.33	5.2	19.33	
10	SS-2	SS2-I10-D3-AK1	70.32	290.335	30	0.015	0.0011	0.75	13.2	9.58	
11	SS-2	SS2-I10-D3-AK3	70.32	290.335	30	0.039	0.0011	0.75	14.8	9.33	
12	SS-2	SS2-I10-D3-AK6	70.32	290.335	30	0.075	0.0011	0.83	15.6	9.33	
13	SS-2	SS2-I10-D4	75.12	290.335	30	-	0.0011	0.67	4.7	15.75	
14	SS-2	SS2-I10-D4-AK1	75.12	290.335	30	0.015	0.0011	0.42	12.2	10.25	
15	SS-2	SS2-I10-D4-AK3	75.12	290.335	30	0.039	0.0011	0.75	14.5	10.00	
16	SS-2	SS2-I10-D4-AK6	75.12	290.335	30	0.075	0.0011	0.83	15.2	9.83	

Dari Tabel 14 menunjukkan bahwa pada sampel tanah SS_2 dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,0011$ mm/det untuk intensitas hujan $I_{10} =$

290,335 mm/jam, kepadatan $D_1 = 62,70 \%$ pada kondisi formasi Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6 menunjukkan waktu mencapai konstan t_c cenderung melambat pada formasi Ak_6 , laju infiltrasi konstan f_c semakin meningkat, yang berarti bahwa penambahan formasi akar pohon mempunyai pengaruh yang cukup signifikan, sedangkan waktu akhir infiltrasi t_e semakin cepat. Fenomena yang sama juga terjadi pada kepadatan $D_2 = 71,24 \%$, $D_3 = 70,32 \%$, dan $D_4 = 75,12 \%$ pada kondisi formasi Ak_1 , Ak_3 , dan Ak_6 .

i. Intensitas hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam dengan kepadatan $D_1 = 62,20 \%$.

Untuk sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas $kp_2 = 0,0011$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk kepadatan $D_1 = 62,20 \%$ dengan intensitas hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 55.



Gambar 55. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah dua (SS_2) dengan kepadatan awal (D_1) untuk Intensitas hujan I_{25}

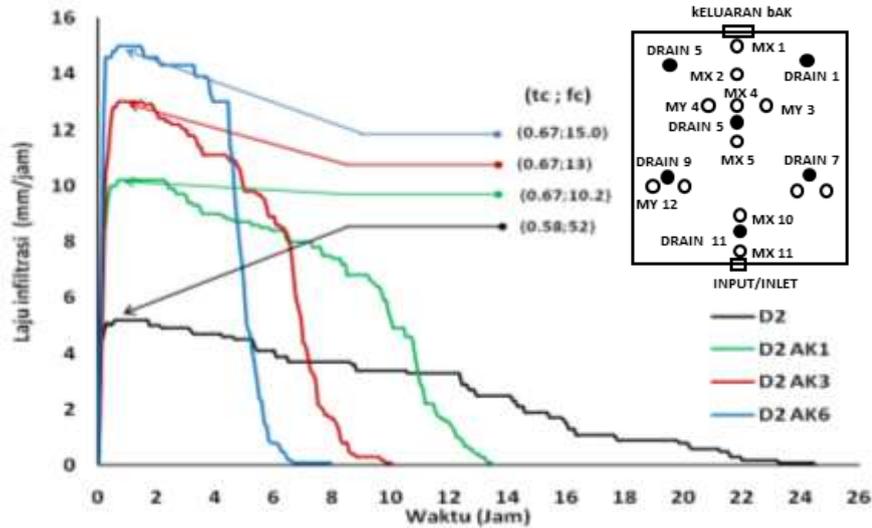
Dari Gambar 55 untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi

$f_c = 6,1$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 22,58$ jam. Untuk formasi akar satu (A_{k_1}) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,83$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 11,1$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 12,92$ jam. Untuk formasi akar tiga (A_{k_3}) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,83$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 13,4$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 9,17$ jam. Untuk formasi akar enam (A_{k_6}) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 15,2$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 8,58$ jam

j. Intensitas hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam dengan kepadatan $D_2 = 76,83$ %.

Untuk sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas $k_{p_2} = 0,0011$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (A_{k_1} , A_{k_3} dan A_{k_6}) untuk kepadatan $D_2 = 76,83$ % dengan intensitas hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 56.

Pada Gambar 56 tersebut, untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,58$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 6,2$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 24,50$ jam. Untuk formasi akar satu (A_{k_1}) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,67$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 10,2$ mm/jam

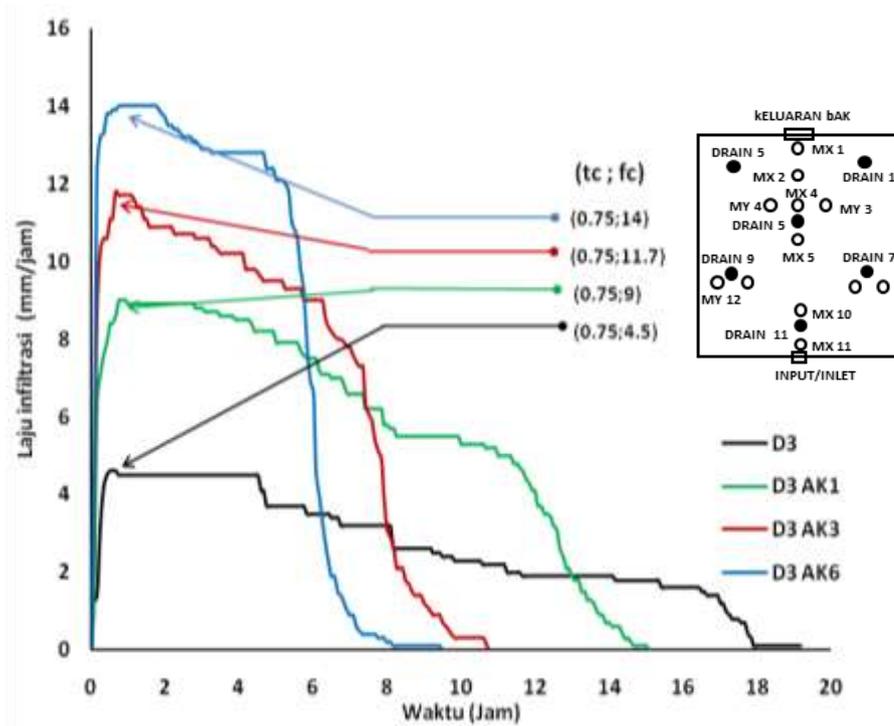


Gambar 56. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah dua (SS_2) dengan kepadatan/pemampatan hujan (D_2) untuk Intensitas hujan, I_{25}

dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 13,50$ jam. Untuk formasi akar tiga (Ak_3) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,67$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 13$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 10,08$ jam. Untuk formasi akar enam (Ak_6) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,67$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 15$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 8,00$ jam

k. Intensitas hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam dengan kepadatan $D_3 = 76,25$ %.

Untuk sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas $kp_2 = 0,0011$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk kepadatan $D_3 = 76,25$ % dengan intensitas hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 57.

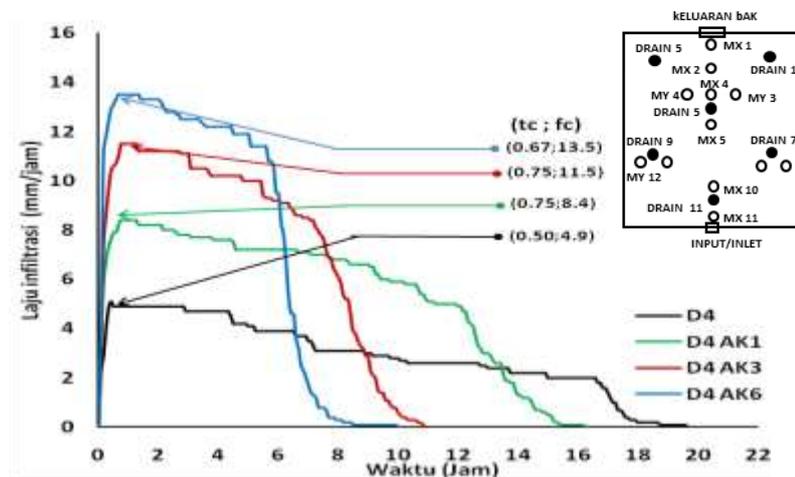


Gambar 57. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah dua (SS_2) dengan kepadatan/pemampatan hujan (D_3) untuk Intensitas hujan, I_{25}

Dari Gambar 57 untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 4,5$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 20,58$ jam. Untuk formasi akar satu (Ak_1) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 9$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 15,08$ jam. Untuk formasi akar tiga (Ak_3) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 11,7$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 10,75$ jam. Untuk formasi akar enam (Ak_6) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 14$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 9,50$ jam.

I. Intensitas hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam dengan kepadatan $D_4 = 73,04$ %.

Untuk sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas $k_{p2} = 0,0011$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (A_{k1} , A_{k3} dan A_{k6}) untuk kepadatan $D_4 = 73,04$ % dengan intensitas hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 58.



Gambar 58. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (A_{k1} , A_{k3} dan A_{k6}) pada sampel tanah dua (SS_2) dengan kepadatan/pemampatan hujan (D_4) Intensitas hujan, I_{25}

Dari Gambar 58 untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,50$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 4,9$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 19,67$ jam. Untuk formasi akar satu (A_{k1}) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 8,4$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 16,25$ jam. Untuk formasi akar tiga (A_{k3}) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 11,5$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi

te = 10,92 jam. Untuk formasi akar enam (Ak₆) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan tc = 0,67 jam dengan kapasitas infiltrasi fc = 13,5 mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi te = 10,00 jam. Rangkuman dari uraian berdasarkan Gambar 55 sampai dengan 58 ditampilkan dalam Tabel 15.

Tabel 15. Parameter Infiltrasi Terhadap Pengaruh Akar untuk Sampel Tanah dua (SS₂) Intensitas I₂₅

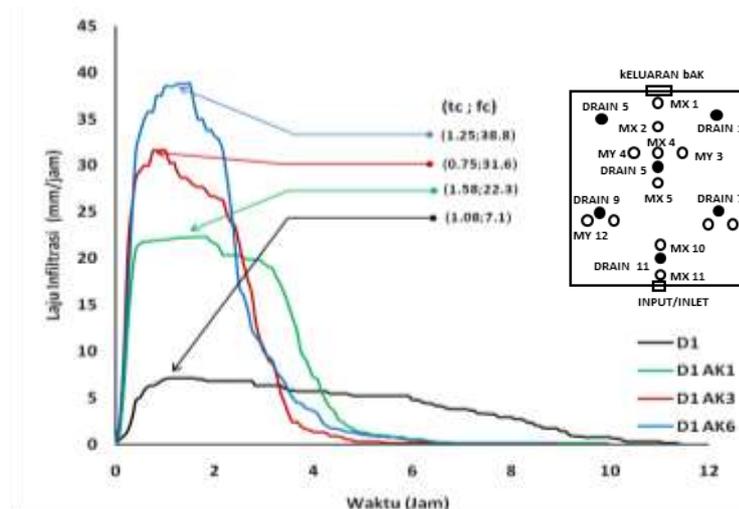
No	Sampel	Skema	D (%)	I ₂₅ (mm/Jam)	h (mm)	ρ	kp (mm/det)	tc (Jam)	fc (mm/Jam)	te (Jam)	Keterangan
1	SS-2	SS2-I25-D1	62.2	344.9	30	-	0.0011	0.75	6.10	22.58	Klasifikasi Tanah SS ₂ : AASHTO = A-2-4
2	SS-2	SS2-I25-D1-AK1	62.2	344.9	30	0.015	0.0011	0.83	11.10	12.92	
3	SS-2	SS2-I25-D1-AK3	62.2	344.9	30	0.039	0.0011	0.83	13.40	9.17	
4	SS-2	SS2-I25-D1-AK6	62.2	344.9	30	0.075	0.0011	0.75	15.20	8.58	
5	SS-2	SS2-I25-D2	76.83	344.9	30	-	0.0011	0.58	5.2	24.50	
6	SS-2	SS2-I25-D2-AK1	76.83	344.9	30	0.015	0.0011	0.67	10.2	13.50	
7	SS-2	SS2-I25-D2-AK3	76.83	344.9	30	0.039	0.0011	0.67	13	10.08	
8	SS-2	SS2-I25-D2-AK6	76.83	344.9	30	0.075	0.0011	0.67	15	8.00	
9	SS-2	SS2-I25-D3	76.25	344.9	30	-	0.0011	0.75	4.5	20.58	
10	SS-2	SS2-I25-D3-AK1	76.25	344.9	30	0.015	0.0011	0.75	9	15.08	
11	SS-2	SS2-I25-D3-AK3	76.25	344.9	30	0.039	0.0011	0.75	11.7	10.75	
12	SS-2	SS2-I25-D3-AK6	76.25	344.9	30	0.075	0.0011	0.75	14	9.50	
13	SS-2	SS2-I25-D4	73.04	344.9	30	-	0.0011	0.5	4.9	19.67	
14	SS-2	SS2-I25-D4-AK1	73.04	344.9	30	0.015	0.0011	0.75	8.4	16.25	
15	SS-2	SS2-I25-D4-AK3	73.04	344.9	30	0.039	0.0011	0.75	11.5	10.92	
16	SS-2	SS2-I25-D4-AK6	73.04	344.9	30	0.075	0.0011	0.67	13.5	10.00	

Dari Tabel 15 menunjukkan bahwa pada sampel tanah SS₂ dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,0011$ mm/det untuk intensitas hujan $I_{25} = 344,90$ mm/jam, kepadatan $D_1 = 62,20$ % pada kondisi formasi Ak₁, Ak₃ dan Ak₆ menunjukkan waktu mencapai konstan tc cenderung tetap, laju infiltrasi konstan fc semakin meningkat, yang berarti bahwa penambahan formasi akar pohon mempunyai pengaruh yang cukup signifikan, sedangkan waktu akhir infiltrasi te semakin cepat. Fenomena yang sama juga terjadi pada kepadatan $D_2 = 76,83$ %, $D_3 = 76,25$ %, dan $D_4 = 73,04$ % pada kondisi formasi Ak₁, Ak₃, dan Ak₆.

3. Penyajian Data Dan Analisis Laju Infiltrasi (f) dan Kapasitas Infiltrasi (f_c) Dengan Formasi Akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Pada Sampel Tanah Tiga (SS_3)

a. Intensitas hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam dengan kepadatan $D_1 = 64,35$ %.

Untuk sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas $kp_3 = 0,0016$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk kepadatan $D_1 = 64,35$ % dengan intensitas hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 59.



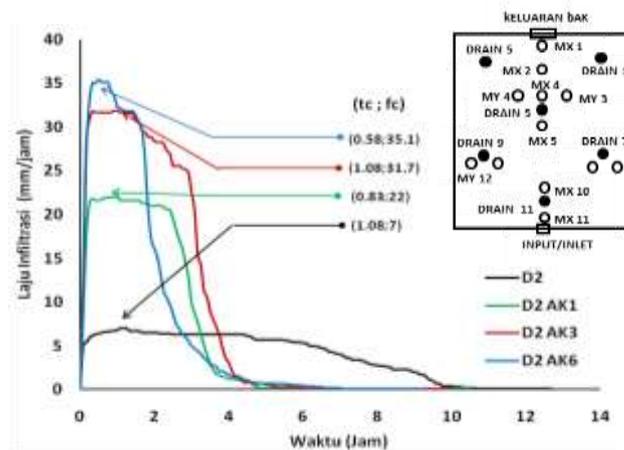
Gambar 59. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan kepadatan awal (D_1) dengan Intensitas hujan I_5

Dari Gambar 59 untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,08$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 7,1$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 11,42$ jam. Untuk formasi akar satu (Ak_1) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,58$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 22,3$ mm/jam dan

waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 10,00$ jam. Untuk formasi akar tiga (Ak_3) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 31,6$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 8,92$ jam. Untuk formasi akar enam (Ak_6) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,25$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 38,8$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 8,83$ jam

b. Intensitas hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam dengan kepadatan $D_2 = 65,5$ %.

Untuk sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas $k_{p3} = 0,0016$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk kepadatan $D_2 = 65,5$ % dengan intensitas hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 60.



Gambar 60. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan kepadatan/pemampatan hujan, D_2 untuk Intensitas hujan I_5

Dari Gambar 60 untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,08$ jam dengan kapasitas infiltrasi

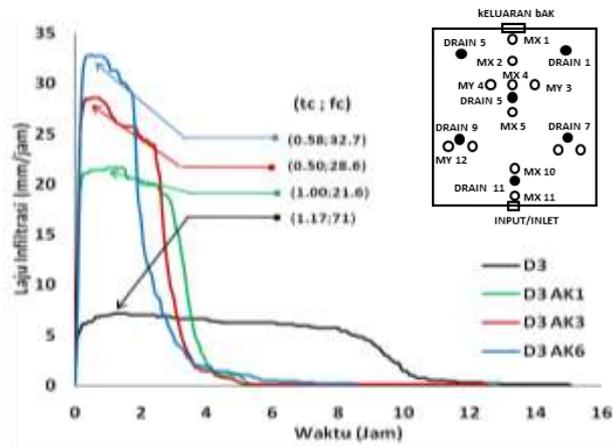
$f_c = 7,00$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 12,83$ jam. Untuk formasi akar satu (A_{k_1}) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,83$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 22$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 10,58$ jam. Untuk formasi akar tiga (A_{k_3}) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,08$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 31,7$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 10,00$ jam. Untuk formasi akar enam (A_{k_6}) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,58$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 35,10$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 9,25$ jam

c. Intensitas hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam dengan kepadatan $D_3 = 70,51$ %.

Untuk sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas $k_{p_3} = 0,0016$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (A_{k_1} , A_{k_3} dan A_{k_6}) untuk kepadatan $D_3 = 70,51$ % dengan intensitas hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 61.

Pada Gambar 61 tersebut terlihat bahwa untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,17$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 7,1$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 15,08$ jam. Untuk formasi akar satu (A_{k_1}) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,00$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 21,6$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 12,92$ jam. Untuk formasi akar tiga (A_{k_3}) menunjukkan bahwa waktu mencapai

konstan $t_c = 0.50$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 28,6$ mm/jam dan waktu berakhir



Gambar 61. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan kepadatan/pemampatan hujan, D_3 untuk Intensitas hujan I_5

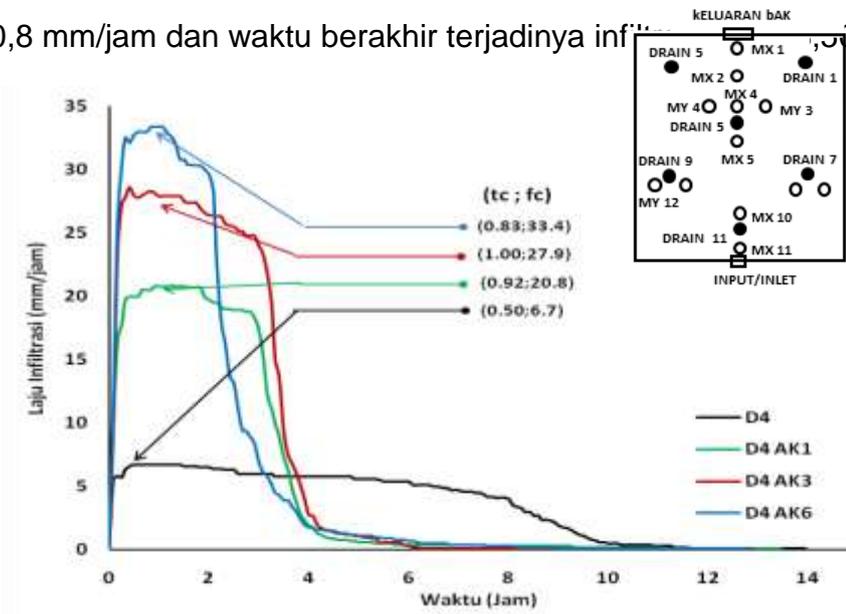
terjadinya infiltrasi $t_e = 12,58$ jam. Untuk formasi akar enam (Ak_6) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,58$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 32,70$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 11,58$ jam

d. Intensitas hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam dengan kepadatan $D_4 = 71,71$ %.

Untuk sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas $k_{p3} = 0,0016$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk kepadatan $D_4 = 71,71$ % dengan intensitas hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 62.

Pada Gambar 62 terlihat bahwa untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,50$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 6,70$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya

infiltrasi $t_e = 14,00$ jam. Untuk formasi akar satu (Ak_1) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,92$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 20,8$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 14,00$ jam.



Gambar 62. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan kepadatan/pemampatan hujan, D_4 untuk Intensitas hujan I_5

Untuk formasi akar tiga (Ak_3) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,00$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 27,9$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 12,92$ jam. Untuk formasi akar enam (Ak_6) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,83$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 33,40$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 12,83$ jam. Rangkuman dari data yang diuraikan pada Gambar 59 sampai dengan 62 ditampilkan pada Tabel 16.

Dalam Tabel 16 tersebut menunjukkan bahwa pada sampel tanah SS_3 dengan koefisien permeabilitas $k_{p3} = 0,0016$ mm/det untuk intensitas hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam, kepadatan $D_1 = 64,35$ % pada kondisi formasi

Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6 menunjukkan waktu mencapai konstan t_c cenderung

Tabel 16. Parameter Infiltrasi Terhadap Pengaruh Akar untuk Sampel Tanah tiga (SS_3) Intensitas I_5

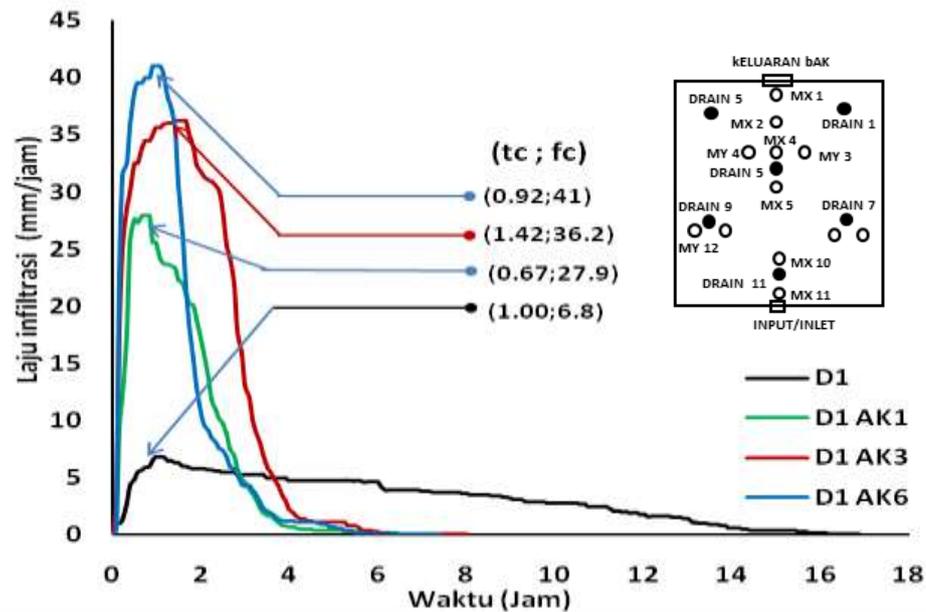
No	Sampel	Skema	D (%)	I ₅ (mm/jam)	h (mm)	ρ	kp (mm/det)	t _c (Jam)	f _c (mm/Jam)	t _e (jam)	Keterangan
1	SS-3	SS3-I5-D1	64.35	246.841	30	-	0.0016	1.08	7.10	11.42	Klasifikasi Tanah SS3 :
2	SS-3	SS3-I5-D1-AK1	64.35	246.841	30	0.015	0.0016	1.58	22.30	10.00	AASHTO = A-2-6
3	SS-3	SS3-I5-D1-AK3	64.35	246.841	30	0.039	0.0016	0.75	31.60	8.92	
4	SS-3	SS3-I5-D1-AK6	64.35	246.841	30	0.075	0.0016	1.25	38.80	8.83	
5	SS-3	SS3-I5-D2	65.5	246.841	30	-	0.0016	1.08	7.00	12.83	
6	SS-3	SS3-I5-D2-AK1	65.5	246.841	30	0.015	0.0016	0.83	22.00	10.58	
7	SS-3	SS3-I5-D2-AK3	65.5	246.841	30	0.039	0.0016	1.08	31.70	10.00	
8	SS-3	SS3-I5-D2-AK6	65.5	246.841	30	0.075	0.0016	0.58	35.10	9.25	
9	SS-3	SS3-I5-D3	70.51	246.841	30	-	0.0016	1.17	7.10	15.08	
10	SS-3	SS3-I5-D3-AK1	70.51	246.841	30	0.015	0.0016	1.00	21.60	12.92	
11	SS-3	SS3-I5-D3-AK3	70.51	246.841	30	0.039	0.0016	0.50	28.60	12.58	
12	SS-3	SS3-I5-D3-AK6	70.51	246.841	30	0.075	0.0016	0.58	32.70	11.58	
13	SS-3	SS3-I5-D4	71.71	246.841	30	-	0.0016	0.50	6.70	14.00	
14	SS-3	SS3-I5-D4-AK1	71.71	246.841	30	0.015	0.0016	0.92	20.80	13.50	
15	SS-3	SS3-I5-D4-AK3	71.71	246.841	30	0.039	0.0016	1.00	27.90	12.92	
16	SS-3	SS3-I5-D4-AK6	71.71	246.841	30	0.075	0.0016	0.83	33.40	12.83	

cepat, laju infiltrasi konstan f_c semakin meningkat, yang berarti bahwa penambahan formasi akar pohon mempunyai pengaruh yang cukup signifikan, sedangkan waktu akhir infiltrasi t_e semakin cepat. Fenomena yang sama juga terjadi pada kepadatan $D_2 = 65,50$ %, $D_3 = 70,51$ %, dan $D_4 = 71,71$ % pada kondisi formasi Ak_1 , Ak_3 , dan Ak_6 .

e. Intensitas hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam dengan kepadatan $D_1 = 63,89$ %.

Untuk sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas $k_{p3} = 0,0016$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk

kepadatan $D_1 = 63,89 \%$ dengan intensitas hujan $I_{10} = 290,335 \text{ mm/jam}$ ditunjukkan pada Gambar 63.



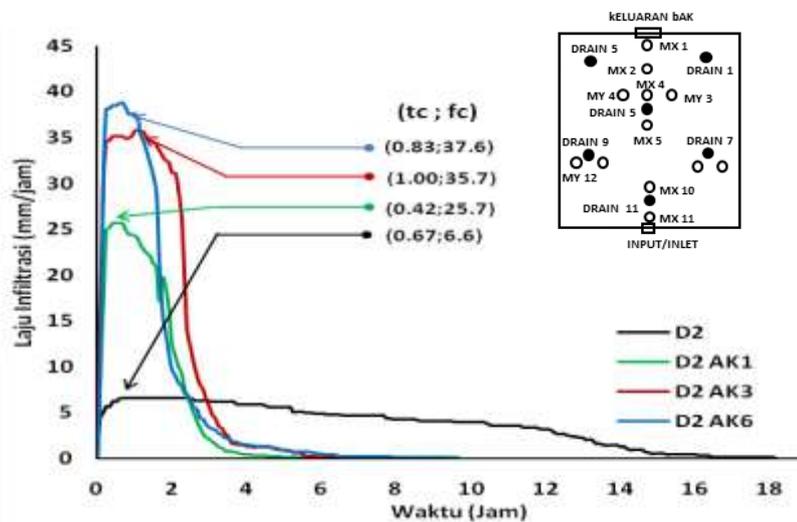
Gambar 63. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan kepadatan awal (D_1) untuk Intensitas hujan, I_{10}

Dari Gambar 63 menunjukkan bahwa untuk kapasitas infiltrasi pada tanah tanpa akar, menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,00$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 6,8 \text{ mm/jam}$ dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 16,92$ jam. Untuk formasi akar satu (Ak_1) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,67$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 27,9 \text{ mm/jam}$ dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 8,92$ jam. Untuk formasi akar tiga (Ak_3) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,42$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 36,2 \text{ mm/jam}$ dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 8,92$ jam. Untuk formasi akar enam (Ak_6) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan t_c

= 0,92 jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 41$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 7,42$ jam.

f. **Intensitas hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam dengan kepadatan $D_2 = 73,41$ %.**

Untuk sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas $k_{p3} = 0,0016$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk kepadatan $D_2 = 73,41$ % dengan intensitas hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 64.



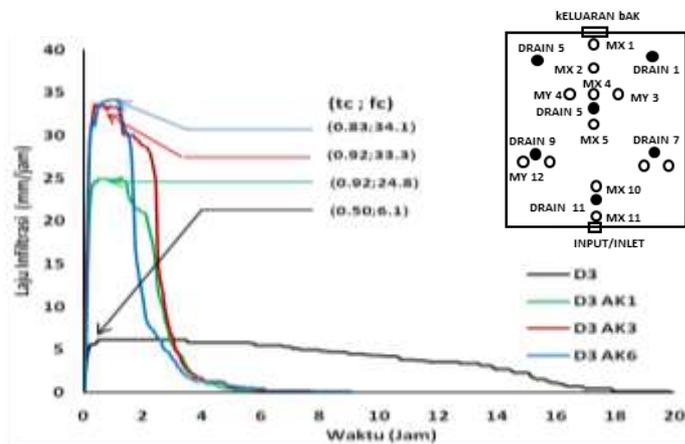
Gambar 64. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan kepadatan/pemampatan hujan, D_2 untuk Intensitas hujan, I_{10}

Dari Gambar 64 untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0.67$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 6,6$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 18,17$ jam. Untuk formasi akar satu (Ak_1) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,42$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 25,7$ mm/jam dan

waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 11,50$ jam. Untuk formasi akar tiga (Ak_3) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,00$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 35,7$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 11,17$ jam. Untuk formasi akar enam (Ak_6) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,83$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 37,60$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 11,00$ jam.

g. Intensitas hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam dengan kepadatan $D_3 = 74,31$ %.

Untuk sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas $k_{p3} = 0,0016$ cm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk kepadatan $D_3 = 74,31$ % dengan intensitas hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 65.



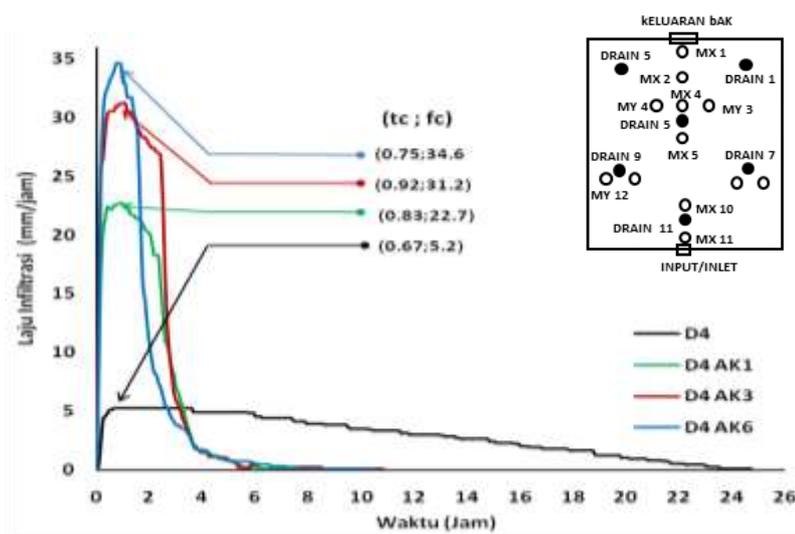
Gambar 65. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan kepadatan/pemampatan hujan, D_3 untuk Intensitas hujan, I_{10}

Dari Gambar 65 untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,50$ jam dengan kapasitas infiltrasi

$f_c = 6,1$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 19,92$ jam. Untuk formasi akar satu (Ak_1) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,92$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 24,8$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 11,83$ jam. Untuk formasi akar tiga (Ak_3) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,92$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 33,3$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 10,50$ jam. Untuk formasi akar enam (Ak_6) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,83$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 34,10$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 9,08$ jam

h. Intensitas hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam dengan kepadatan $D_4 = 74,93$ %.

Untuk sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas $k_{p_3} = 0,0016$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk kepadatan $D_4 = 74,93$ % dengan intensitas hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 66.



Gambar 66. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan kepadatan/pemampatan hujan, D_4 untuk Intensitas hujan, I_{10}

Dari Gambar 66 untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,67$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 5,2$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 24,75$ jam. Untuk formasi akar satu (Ak_1) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,83$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 22,7$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 12,42$ jam. Untuk formasi akar tiga (Ak_3) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,92$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 31,2$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 11,42$ jam. Untuk formasi akar enam (Ak_6) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 34,6$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 10,58$ jam. Tabel 17 berikut ini menunjukkan rangkuman dari data yang diuraikan dalam Gambar 63 sampai dengan 66.

Tabel 17. Parameter Infiltrasi Terhadap Pengaruh Akar untuk Sampel Tanah tiga (SS_3) Intensitas I_{10}

No	Sampel	Skema	D (%)	I ₁₀ (mm/jam)	h (mm)	ρ	kp (mm/det)	tc (Jam)	fc (mm/Jam)	te (jam)	Keterangan
1	SS-3	SS3-I10-D1	63.89	290,335	30	-	0.0016	1.00	6.8	16.92	Klasifikasi Tanah SS3 : AASHTO = A-2-6
2	SS-3	SS3-I10-D1-AK1	63.89	290,335	30	0.015	0.0016	0.67	27.9	8.92	
3	SS-3	SS3-I10-D1-AK3	63.89	290,335	30	0.039	0.0016	1.42	36.2	8.92	
4	SS-3	SS3-I10-D1-AK6	63.89	290,335	30	0.075	0.0016	0.92	41	7.42	
5	SS-3	SS3-I10-D2	73.41	290,335	30	-	0.0016	0.67	6.6	18.17	
6	SS-3	SS3-I10-D2-AK1	73.41	290,335	30	0.015	0.0016	0.42	25.7	11.50	
7	SS-3	SS3-I10-D2-AK3	73.41	290,335	30	0.039	0.0016	1.00	35.7	11.17	
8	SS-3	SS3-I10-D2-AK6	73.41	290,335	30	0.075	0.0016	0.83	37.6	11.00	
9	SS-3	SS3-I10-D3	74.31	290,335	30	-	0.0016	0.50	6.1	19.92	
10	SS-3	SS3-I10-D3-AK1	74.31	290,335	30	0.015	0.0016	0.92	24.8	11.83	
11	SS-3	SS3-I10-D3-AK3	74.31	290,335	30	0.039	0.0016	0.92	33.3	10.50	
12	SS-3	SS3-I10-D3-AK6	74.31	290,335	30	0.075	0.0016	0.83	34.1	9.08	
13	SS-3	SS3-I10-D4	74.93	290,335	30	-	0.0016	0.67	5.2	24.75	
14	SS-3	SS3-I10-D4-AK1	74.93	290,335	30	0.015	0.0016	0.83	22.7	12.42	
15	SS-3	SS3-I10-D4-AK3	74.93	290,335	30	0.039	0.0016	0.92	31.2	11.42	
16	SS-3	SS3-I10-D4-AK6	74.93	290,335	30	0.075	0.0016	0.75	34.6	10.58	

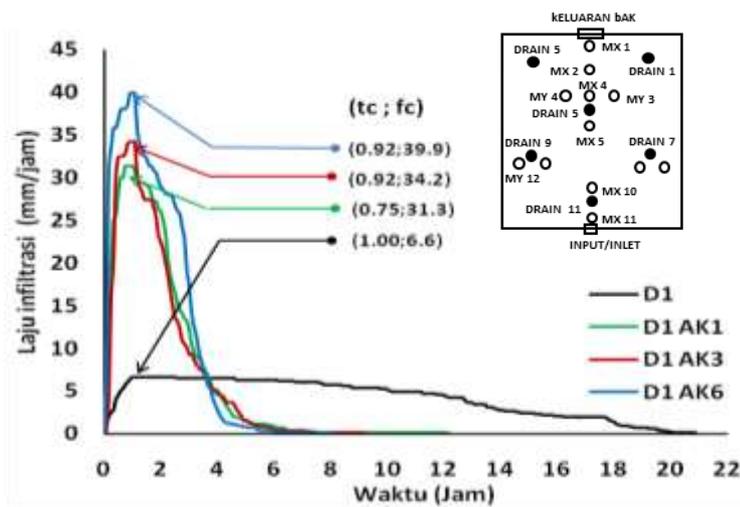
Dari Tabel 17 menunjukkan bahwa pada sampel tanah SS₃ dengan koefisien permeabilitas $kp_3 = 0,0016$ mm/det untuk intensitas hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam, kepadatan $D_1 = 63,89$ % pada kondisi formasi Ak₁, Ak₃ dan Ak₆ menunjukkan waktu mencapai konstan tc cenderung tetap, laju infiltrasi konstan fc semakin meningkat, yang berarti bahwa penambahan formasi akar pohon mempunyai pengaruh yang cukup signifikan, sedangkan waktu akhir infiltrasi te semakin cepat. Fenomena yang sama juga terjadi pada kepadatan $D_2 = 73,41$ %, $D_3 = 74,31$ %, dan $D_4 = 74,93$ % pada kondisi formasi Ak₁, Ak₃, dan Ak₆.

i. Intensitas hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam dengan kepadatan $D_1 = 63,92$ %.

Untuk sampel tanah tiga (SS₃) dengan koefisien permeabilitas $kp_3 = 0,0016$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi fc (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak₁, Ak₃ dan Ak₆) untuk

kepadatan $D_1 = 63,92\%$ dengan intensitas hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 67.

Pada Gambar 67 tersebut terlihat bahwa untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,00$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 6,6$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 20,92$ jam. Untuk formasi akar satu (Ak_1) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 31,3$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 12,17$ jam. Untuk formasi akar tiga (Ak_3) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan

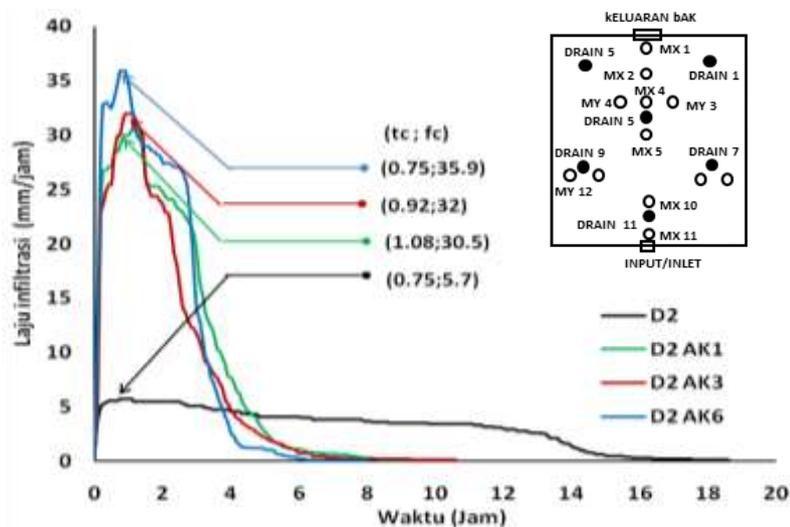


Gambar 67. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan kepadatan awal (D_1) untuk Intensitas hujan, I_{25}

$t_c = 0,92$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 34,2$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 10,17$ jam. Untuk formasi akar enam (Ak_6) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,92$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 39,9$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 8,08$ jam

j. Intensitas hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam dengan kepadatan $D_2 = 73,41$ %.

Untuk sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas $kp_3 = 0,0016$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi fc (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk kepadatan $D_2 = 73,41$ % dengan intensitas hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 68. Pada gambar tersebut terlihat bahwa untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $fc = 5,7$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 18,67$ jam. Untuk formasi akar satu (Ak_1) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,08$ jam dengan kapasitas infiltrasi $fc = 30,5$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 10,67$ jam.

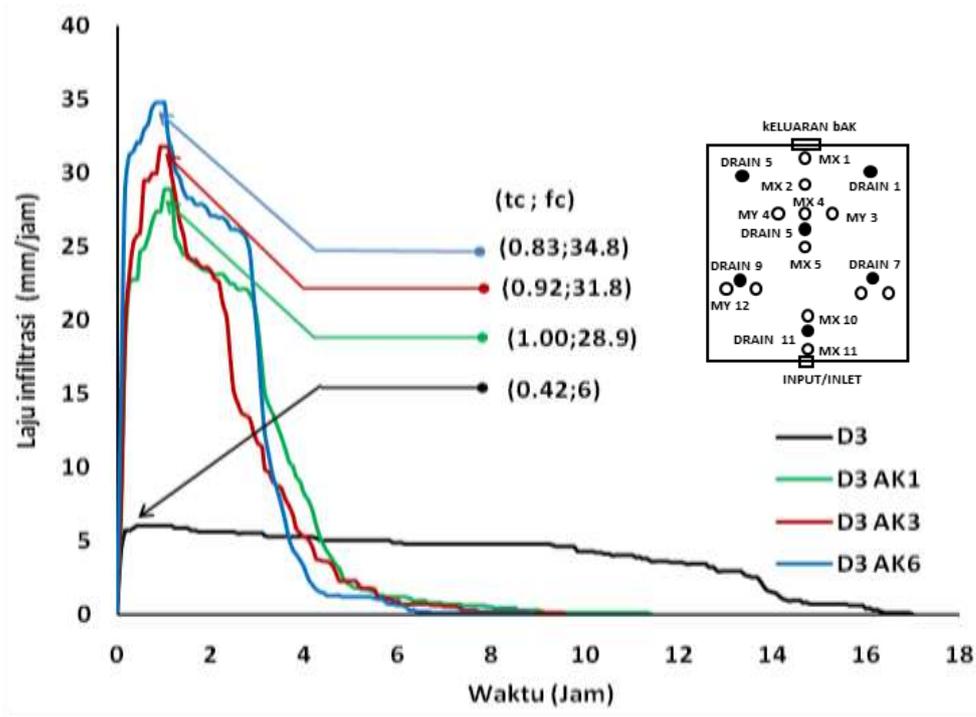


Gambar 68. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan kepadatan/pemampatan hujan, D_2 untuk Intensitas hujan, I_{25}

Untuk formasi akar tiga (Ak_3) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,92$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 32$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 10,67$ jam. Untuk formasi akar enam (Ak_6) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,75$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 35,9$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 8,08$ jam

k. Intensitas hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam dengan kepadatan $D_3 = 74,48$ %.

Untuk sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas $k_{p3} = 0,0016$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk kepadatan $D_3 = 74,48$ % dengan intensitas hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 69.

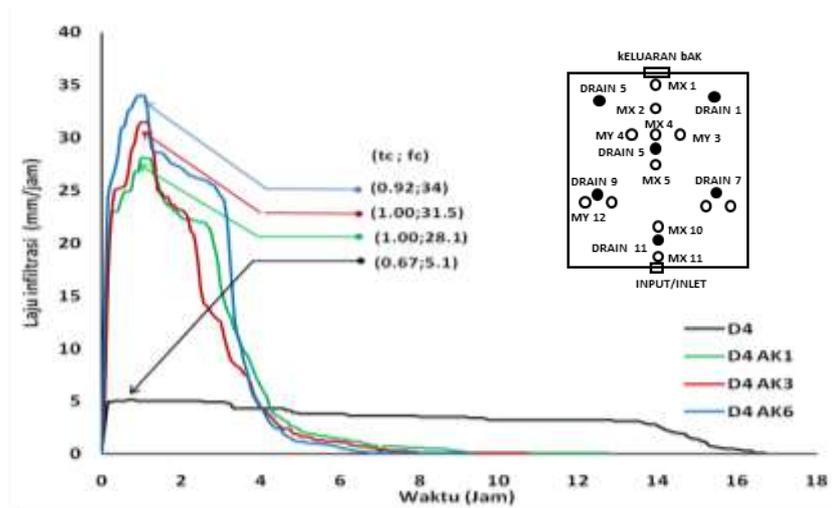


Gambar 69. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (A_{k_1} , A_{k_3} dan A_{k_6}) pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan kepadatan/pemampatan hujan, D_3 untuk Intensitas hujan, I_{25}

Dari Gambar 69 untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,42$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 6,1$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 17,00$ jam. Untuk formasi akar satu (A_{k_1}) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,00$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 28,9$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 11,42$ jam. Untuk formasi akar tiga (A_{k_3}) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,92$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 31,8$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 9,58$ jam. Untuk formasi akar enam (A_{k_6}) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,83$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 34,8$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 8,92$ jam.

I. Intensitas hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam dengan kepadatan $D_4 = 75,57$ %.

Untuk sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas $k_{p_3} = 0,0016$ mm/det, laju infiltrasi f (mm/jam) dan kapasitas infiltrasi f_c (mm/jam) dengan formasi kerapatan akar (A_{k_1} , A_{k_3} dan A_{k_6}) untuk kepadatan $D_4 = 75,57$ % dengan intensitas hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam ditunjukkan pada Gambar 70.



Gambar 70. Hubungan antara waktu dan laju infiltrasi pada tanah tanpa akar dan dengan formasi kerapatan akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan kepadatan/pemampatan hujan, D_4 untuk Intensitas hujan, I_{25}

Dari Gambar 70 untuk kapasitas infiltrasi tanpa akar menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,67$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 5,1$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 16,75$ jam. Untuk formasi akar satu (Ak_1) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,00$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 28,1$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 12,83$ jam. Untuk formasi akar tiga (Ak_3) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 1,00$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 31,5$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 10,75$ jam. Untuk formasi akar enam (Ak_6) menunjukkan bahwa waktu mencapai konstan $t_c = 0,92$ jam dengan kapasitas infiltrasi $f_c = 34$ mm/jam dan waktu berakhir terjadinya infiltrasi $t_e = 9,33$ jam. Rangkuman dari data yang diuraikan pada Gambar 67 sampai dengan 70 ditunjukkan pada Tabel 18 berikut ini.

Tabel 18. Parameter Infiltrasi Terhadap Pengaruh Akar untuk Sampel Tanah tiga (SS₃) Intensitas I₂₅

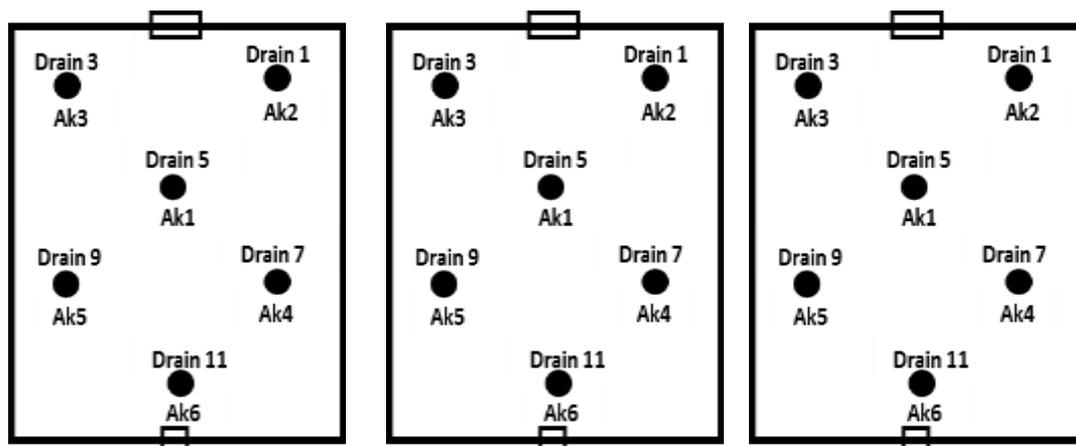
No	Sampel	Skema	D1 (%)	I ₂₅ (mm/jam)	h (mm)	ρ	kp (mm/det)	tc (Jam)	fc (mm/Jam)	te (jam)	Keterangan
1	SS-3	SS3-I25-D1	63.92	344.9	30	-	0.0016	1.00	6.6	20.92	Klasifikasi Tanah SS ₃ : AASHTO = A-2-6
2	SS-3	SS3-I25-D1-AK1	63.92	344.9	30	0.015	0.0016	0.75	31.3	12.17	
3	SS-3	SS3-I25-D1-AK3	63.92	344.9	30	0.039	0.0016	0.92	34.2	10.17	
4	SS-3	SS3-I25-D1-AK6	63.92	344.9	30	0.075	0.0016	0.92	39.9	8.08	
5	SS-3	SS3-I25-D2	73.65	344.9	30	-	0.0016	0.75	5.7	18.67	
6	SS-3	SS3-I25-D2-AK1	73.65	344.9	30	0.015	0.0016	1.08	30.5	10.42	
7	SS-3	SS3-I25-D2-AK3	73.65	344.9	30	0.039	0.0016	0.92	32	10.67	
8	SS-3	SS3-I25-D2-AK6	73.65	344.9	30	0.075	0.0016	0.75	35.9	8.08	
9	SS-3	SS3-I25-D3	72.48	344.9	30	-	0.0016	0.42	6	17.00	
10	SS-3	SS3-I25-D3-AK1	72.48	344.9	30	0.015	0.0016	1.00	28.9	11.42	
11	SS-3	SS3-I25-D3-AK3	72.48	344.9	30	0.039	0.0016	0.92	31.8	9.58	
12	SS-3	SS3-I25-D3-AK6	72.48	344.9	30	0.075	0.0016	0.83	34.8	8.92	
13	SS-3	SS3-I25-D4	75.57	344.9	30	-	0.0016	0.67	5.1	16.75	
14	SS-3	SS3-I25-D4-AK1	75.57	344.9	30	0.015	0.0016	1.00	28.1	12.83	
15	SS-3	SS3-I25-D4-AK3	75.57	344.9	30	0.039	0.0016	1.00	31.5	10.75	
16	SS-3	SS3-I25-D4-AK6	75.57	344.9	30	0.075	0.0016	0.92	34	9.33	

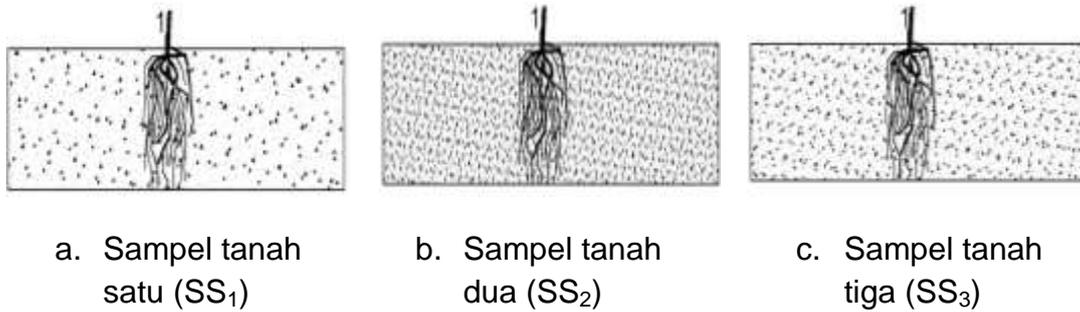
Dari Tabel 18 menunjukkan bahwa pada sampel tanah SS₃ dengan koefisien permeabilitas $kp_3 = 0,0016$ mm/det untuk intensitas hujan $I_{25} = 344,90$ mm/jam, kepadatan $D_1 = 63,92$ % pada kondisi formasi Ak₁, Ak₃ dan Ak₆ menunjukkan waktu mencapai konstan tc cenderung tetap, laju infiltrasi konstan fc semakin meningkat, yang berarti bahwa penambahan formasi akar pohon mempunyai pengaruh yang cukup signifikan, sedangkan waktu akhir infiltrasi te semakin cepat. Fenomena yang sama juga terjadi pada kepadatan $D_2 = 73,65$ %, $D_3 = 72,48$ %, dan $D_4 = 75,57$ % pada kondisi formasi Ak₁, Ak₃, dan Ak₆.

4. Pembahasan dan diskusi

Pada Tabel 10 sampai dengan Tabel 18, menunjukkan bahwa untuk sampel tanah satu (SS₁) dengan koefisien permeabilitas, $kp_1 =$

0,00384 mm/det yang berarti memiliki gradasi yang paling kasar dibandingkan dengan sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas, $kp_2 = 0,0011$ mm/det dan sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas, $kp_3 = 0,0016$ mm/det, memperlihatkan kapasitas infiltrasi yang semakin meningkat. Ini menunjukkan fenomena logis bahwa semakin besar koefisien permeabilitas (semakin besar butiran tanahnya), maka celah-celah di antara butiran tanah semakin besar dan ditambah dengan fungsi akar sebagai konduktor sehingga volume infiltrasi semakin meningkat dan arah rambat infiltrasi menuju waktu akhir (t_e) bertambah cepat. Sedangkan untuk kasus sampel tanah berbutir halus dengan koefisien permeabilitas yang lebih kecil, maka fungsi akar mengisi celah-celah butiran tanah dan menjadi konduktor memberi efek yang signifikan terhadap penambahan volume infiltrasi dan arah rambat aliran infiltrasi menuju waktu akhir (t_e) lebih cepat. Fenomena tersebut dilukiskan pada Gambar 71.



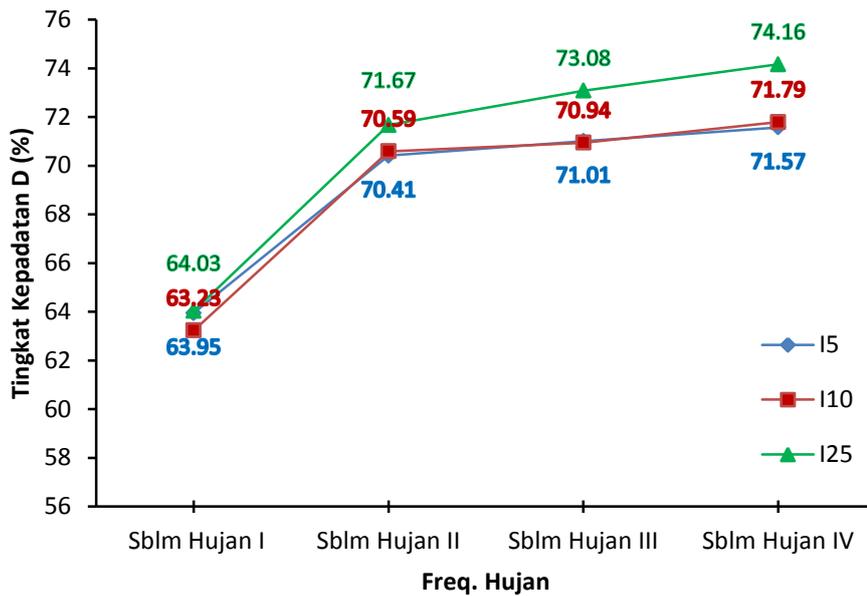


Gambar 71. Ilustrasi peranan akar pohon untuk tiga sampel tanah (SS₁, SS₂ dan SS₃)

D. Hubungan Antar Parameter Pada Pengujian Tanpa Pengaruh Akar Pohon

1. Pengaruh Frekwensi Curah Hujan Terhadap Tingkat Kepadatan/ Kemampatan Pada Tiga Jenis Sampel Tanah (SS₁, SS₂ dan SS₃)

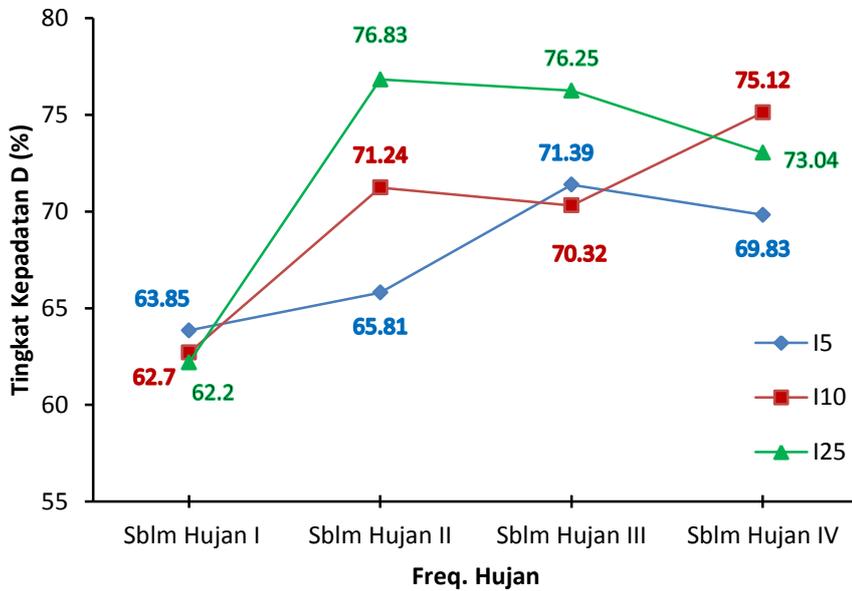
Untuk mempertahankan kondisi kesetaraan parameter yang berpengaruh pada kapaitas infiltrasi (f_c) maka dilakukan pengamatan terhadap perubahan tingkat kepadatan atau pemampatan akibat hujan. Pada Gambar 72 sampai Gambar 74 diperlihatkan perubahan tingkat kepadatan D (%) setiap selesai dilakukan penyiraman hujan untuk masing-masing sampel (SS₁, SS₂ dan SS₃) untuk tiga intensitas curah hujan (I_5 , I_{10} , dan I_{25}).



Gambar 72. Pengaruh frekwensi hujan terhadap perubahan tingkat kepadatan dan pemampatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) pada sampel tanah satu (SS_1) untuk intensitas hujan, (I_5 , I_{10} , dan I_{25})

Pada Gambar 72 untuk sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,00384$ mm/det pada intensitas curah hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam menunjukkan kepadatan awal (sebelum hujan I) sebesar $D_1 = 63,95$ %, dan berturut-turut sebelum hujan II, III dan IV masing-masing sebesar $D_2 = 70,41$ %, $D_3 = 71,01$ %, dan $D_4 = 71,57$ %. Selanjutnya pada intensitas curah hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam menunjukkan kepadatan awal (sebelum hujan I) sebesar $D_1 = 63,23$ %, dan berturut-turut sebelum hujan II, III dan IV masing-masing sebesar $D_2 = 70,59$ %, $D_3 = 70,94$ %, dan $D_4 = 71,79$ %, sedangkan pada intensitas curah hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam menunjukkan kepadatan awal (sebelum hujan I) sebesar $D_1 = 63,03$ %, dan berturut-turut sebelum hujan II, III dan

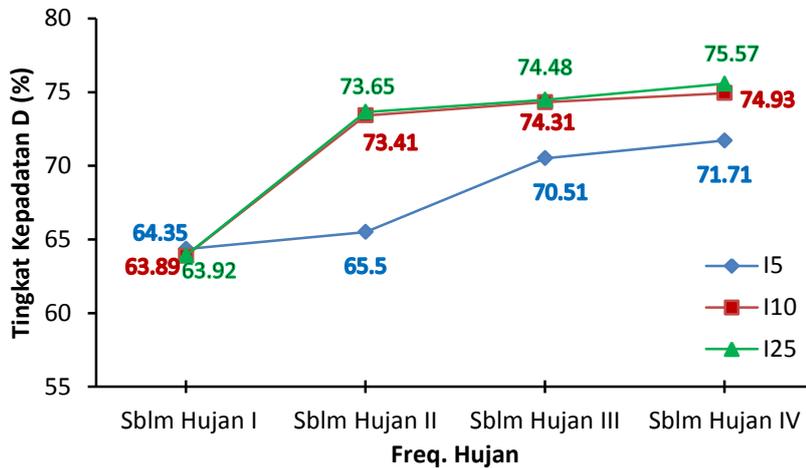
IV masing-masing sebesar $D_2 = 71,67 \%$, $D_3 = 73,08 \%$, dan $D_4 = 74,16 \%$.



Gambar 73. Pengaruh frekwensi hujan terhadap perubahan tingkat kepadatan dan pemampatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) pada sampel tanah dua (SS_2) untuk intensitas hujan, (I_5 , I_{10} , dan I_{25})

Pada Gambar 73 untuk sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas $kp_2 = 0,00110 \text{ mm/det}$ pada intensitas curah hujan $I_5 = 246,841 \text{ mm/jam}$ menunjukkan kepadatan awal (sebelum hujan I) sebesar $D_1 = 63,85 \%$, dan berturut-turut sebelum hujan II, III dan IV masing-masing sebesar $D_2 = 65,81 \%$, $D_3 = 71,39 \%$, dan $D_4 = 69,83 \%$. Selanjutnya pada intensitas curah hujan $I_{10} = 290,335 \text{ mm/jam}$ menunjukkan kepadatan awal (sebelum hujan I) sebesar $D_1 = 62,7 \%$, dan berturut-turut sebelum hujan II, III dan IV masing-masing sebesar $D_2 = 71,24 \%$, $D_3 = 70,32 \%$, dan $D_4 = 75,12 \%$, sedangkan pada intensitas curah hujan $I_{25} = 344,900 \text{ mm/jam}$ menunjukkan kepadatan awal (sebelum

hujan I) sebesar $D_1 = 62,2 \%$, dan berturut-turut sebelum hujan II, III dan IV masing-masing sebesar $D_2 = 76,83 \%$, $D_3 = 76,25 \%$, dan $D_4 = 73,04 \%$.



Gambar 74. Pengaruh frekwensi hujan terhadap perubahan tingkat kepadatan dan pemampatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) pada sampel tanah tiga (SS_3) untuk intensitas hujan, (I_5 , I_{10} , dan I_{25})

Pada Gambar 74 untuk sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas $kp_3 = 0,0016 \text{ mm/det}$ pada intensitas curah hujan $I_5 = 246,841 \text{ mm/jam}$ menunjukkan kepadatan awal (sebelum hujan I) sebesar $D_1 = 64,35\%$, dan berturut-turut sebelum hujan II, III dan IV masing-masing sebesar $D_2 = 65,5\%$, $D_3 = 70,51\%$, dan $D_4 = 71,71\%$. Selanjutnya pada intensitas curah hujan $I_{10} = 290,335 \text{ mm/jam}$ menunjukkan kepadatan awal (sebelum hujan I) sebesar $D_1 = 63,89\%$, dan berturut-turut sebelum hujan II, III dan IV masing-masing sebesar $D_2 = 73,41\%$, $D_3 = 74,31\%$, dan $D_4 = 74,93\%$, sedangkan pada intensitas curah hujan $I_{25} = 344,900 \text{ mm/jam}$ menunjukkan kepadatan awal (sebelum hujan I) sebesar $D_1 = 63,92\%$, dan berturut-turut sebelum hujan II, III dan IV masing-

masing sebesar $D_2 = 73,65\%$, $D_3 = 74,48\%$, dan $D_4 = 75,57\%$. Tabel 19 menunjukkan rangkuman parameter kepadatan dan pemampatan tanah akibat intensitas curah hujan yang diuraikan berdasarkan Gambar 72 sampai dengan 74.

Tabel 19. Parameter Kepadatan dan pemampatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) pada sampel tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) untuk intensitas hujan, (I_5 , I_{10} dan I_{25})

No	Sampel/Skema	Freq. Hujan	D (%)		
			I5	I10	I25
1	SS1-D1	Sblm Hujan I	63.95	63.23	64.03
2	SS1-D2	Sblm Hujan II	70.41	70.59	71.67
3	SS1-D3	Sblm Hujan III	71.01	70.94	73.08
4	SS1-D4	Sblm Hujan IV	71.57	71.79	74.16
5	SS2-D1	Sblm Hujan I	63.85	62.7	62.2
6	SS2-D2	Sblm Hujan II	65.81	71.24	76.83
7	SS2-D3	Sblm Hujan III	71.39	70.32	76.25
8	SS2-D4	Sblm Hujan IV	69.83	75.12	73.04
9	SS3-D1	Sblm Hujan I	64.35	63.89	63.92
10	SS3-D2	Sblm Hujan II	65.5	73.41	73.65
11	SS3-D3	Sblm Hujan III	70.51	74.31	74.48
12	SS3-D4	Sblm Hujan IV	71.71	74.93	75.57

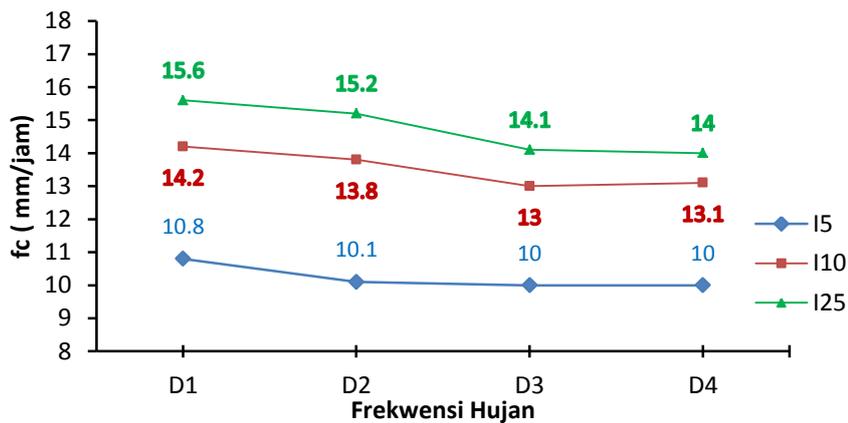
Dari Tabel 19 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan presentase kepadatan/pemampatan akibat pengaruh frekwensi curah hujan untuk tiga sampel tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) baik pada intensitas I_5 , I_{10} , maupun I_{25}

2. Pengaruh Kepadatan Tanah Terhadap Kapasitas Infiltrasi (f_c) Pada Tiga Jenis Sampel Tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) Tanpa Menggunakan Akar Pohon

Untuk mengetahui pengaruh variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) terhadap kapasitas infiltrasi (f_c) . Pada sampel tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) dengan tiga intensitas curah hujan (I_5 , I_{10} , & I_{25}), maka berikut ini disajikan

hasil amatan pengaruh kepadatan tanah terhadap kapasitas infiltrasi sebagaimana tertera pada Gambar 75 sampai dengan 77.

Pada Gambar 75 untuk sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,00384$ mm/det, dengan intensitas curah hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam terlihat bahwa kapasitas infiltrasi (f_c) = 10,80 mm/jam,

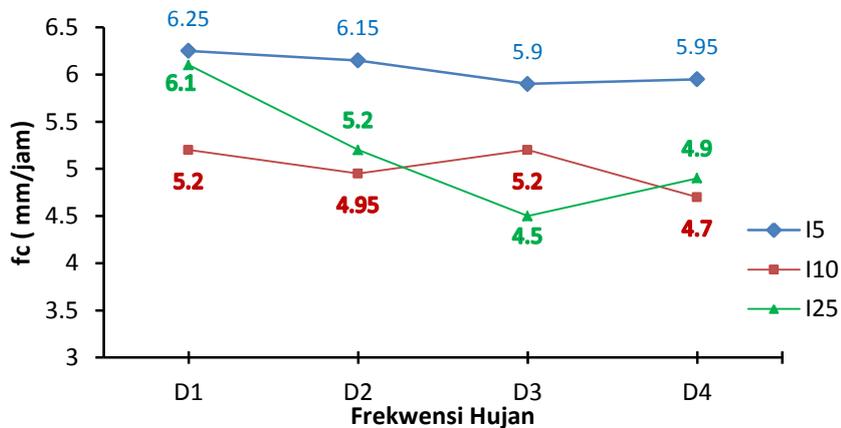


Gambar 75. Pengaruh kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) terhadap kapasitas infiltrasi (f_c) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan intensitas hujan, (I_5 , I_{10} , dan I_{25})

untuk kepadatan (D_2) dengan kapasitas infiltrasi (f_c) = 10,10 mm/jam, kepadatan (D_3) dengan kapasitas infiltrasi (f_c) = 10,00 mm/jam dan kepadatan (D_4) dengan kapasitas infiltrasi (f_c) = 10,00 mm/jam.

Sedangkan untuk intensitas curah hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam terlihat bahwa untuk kepadatan awal (D_1) menunjukkan angka kapasitas infiltrasi (f_c) = 14,20 mm/jam, untuk kepadatan (D_2) dengan kapasitas infiltrasi (f_c) = 13,80 mm/jam, kepadatan (D_3) dengan kapasitas infiltrasi (f_c) = 13,00 mm/jam dan kepadatan (D_4) dengan kapasitas infiltrasi (f_c) = 13,10 mm/jam.

Sementara untuk intensitas curah hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam terlihat bahwa untuk kepadatan awal (D_1) menunjukkan angka kapasitas infiltrasi (f_c) = 15,60 mm/jam, untuk kepadatan (D_2) dengan kapasitas infiltrasi (f_c) = 15,20 mm/jam, kepadatan (D_3) dengan kapasitas infiltrasi (f_c) = 14,10 mm/jam dan kepadatan (D_4) dengan kapasitas infiltrasi (f_c) = 14,00 mm/jam.



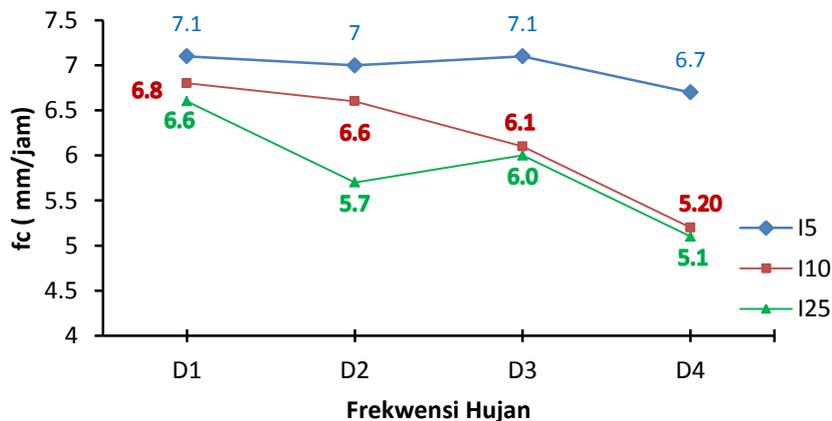
Gambar 76. Pengaruh kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) terhadap kapasitas infiltrasi konstan (f_c) pada sampel tanah dua (SS_2) dengan intensitas hujan, (I_5 , I_{10} , dan I_{25})

Pada Gambar 76 untuk sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas $kp_2 = 0,0011$ mm/det pada intensitas curah hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam terlihat bahwa untuk kepadatan awal (D_1) menunjukkan angka kapasitas infiltrasi (f_c) = 6,25 mm/jam, untuk kepadatan (D_2) dengan kapasitas infiltrasi (f_c) = 6,15 mm/jam, kepadatan (D_3) dengan kapasitas infiltrasi (f_c) = 5,90 mm/jam dan kepadatan (D_4) dengan kapasitas infiltrasi (f_c) = 5,95 mm/jam.

Untuk intensitas curah hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam menunjukkan bahwa untuk kepadatan awal (D_1) memperlihatkan angka kapasitas

infiltrasi (f_c) = 5,20 mm/jam, untuk kepadatan (D_2) dengan kapasitas infiltrasi (f_c) = 4,95 mm/jam, kepadatan (D_3) dengan kapasitas infiltrasi (f_c) = 5,20 mm/jam dan kepadatan (D_4) dengan kapasitas infiltrasi (f_c) = 4,70 mm/jam.

Sedangkan untuk intensitas curah hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam menunjukkan bahwa untuk kepadatan awal (D_1) memperlihatkan angka kapasitas infiltrasi (f_c) = 6,10 mm/jam, untuk kepadatan (D_2) dengan kapasitas infiltrasi (f_c) = 5,20 mm/jam, kepadatan (D_3) dengan kapasitas infiltrasi (f_c) = 4,50 mm/jam dan kepadatan (D_4) dengan kapasitas infiltrasi (f_c) = 4,90 mm/jam



Gambar 77. Pengaruh kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) terhadap kapasitas infiltrasi konstan (f_c) pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan intensitas hujan, (I_5 , I_{10} , dan I_{25})

Pada Gambar 77 untuk sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas $k_3 = 0,0016$ mm/det pada intensitas curah hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam menunjukkan bahwa untuk kepadatan awal (D_1) memperlihatkan angka kapasitas infiltrasi (f_c) = 7,10 mm/jam, untuk kepadatan (D_2) dengan kapasitas infiltrasi (f_c) = 7,00 mm/jam, kepadatan

(D₃) dengan kapasitas infiltrasi (fc) = 7,10 mm/jam dan kepadatan (D₄) dengan kapasitas infiltrasi (fc) = 6,7 mm/jam.

Pada intensitas curah hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam menunjukkan bahwa untuk kepadatan awal (D₁) memperlihatkan angka kapasitas infiltrasi (fc) = 6,80 mm/jam, untuk kepadatan (D₂) dengan kapasitas infiltrasi (fc) = 6,60 mm/jam, kepadatan (D₃) kapasitas infiltrasi (fc) = 6,10 mm/jam dan kepadatan (D₄) kapasitas infiltrasi (fc) = 5,20 mm/jam.

Sedangkan untuk intensitas curah hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam menunjukkan bahwa untuk kepadatan awal (D₁) memperlihatkan angka kapasitas infiltrasi (fc) = 6,60 mm/jam, untuk kepadatan (D₂) dengan kapasitas infiltrasi (fc) = 5,70 mm/jam, kepadatan (D₃) dengan kapasitas infiltrasi (fc) = 6,00 mm/jam dan kepadatan (D₄) menghasilkan kapasitas infiltrasi (fc) = 5,10 mm/jam. Tabel 20 menunjukkan rangkuman parameter kepadatan dan pemampatan tanah akibat intensitas curah hujan yang diuraikan berdasarkan Gambar 75 sampai dengan 77.

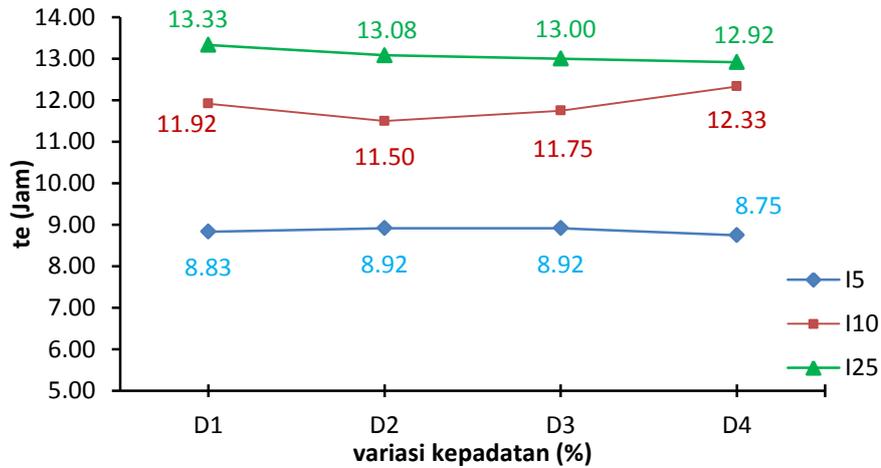
Tabel 20. Parameter Kapasitas Infiltrasi Konstan (fc) Akibat Pengaruh Kepadatan tanah (D₁, D₂, D₃ dan D₄) Pada Sampel Tanah (SS₁, SS₂ dan SS₃).

No	Sampel/ Skema	Kepadatan	fc (mm/jam)		
			I5	I10	I25
1	SS1-D1	D1	10.8	14.2	15.6
2	SS1-D2	D2	10.1	13.8	15.2
3	SS1-D3	D3	10	13	14.1
4	SS1-D4	D4	10	13.1	14
5	SS2-D1	D1	6.25	5.2	6.1
6	SS2-D2	D2	6.15	4.95	5.2
7	SS2-D3	D3	5.9	5.2	4.5
8	SS2-D4	D4	5.95	4.7	4.9
9	SS3-D1	D1	7.1	6.8	6.6
10	SS3-D2	D2	7	6.6	5.7
11	SS3-D3	D3	7.1	6.1	6.0
12	SS3-D4	D4	6.7	5.20	5.1

Dari Tabel 20 menunjukkan bahwa terjadi kecenderungan penurunan kapasitas infiltrasi (fc) akibat pengaruh berbagai variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) untuk tiga sampel tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) baik pada intensitas I_5 , I_{10} , maupun I_{25} .

3. Pengaruh Kepadatan Tanah Terhadap Waktu Berakhirnya Infiltrasi (t_e) Pada Tiga Jenis Sampel Tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) Tanpa Menggunakan Akar Pohon

Untuk mengetahui pengaruh variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) terhadap waktu akhir infiltrasi (t_e) pada sampel tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) dengan tiga intensitas curah hujan (I_5 , I_{10} , dan I_{25}), maka berikut ini disajikan hasil amatan pengaruh kepadatan tanah terhadap waktu berakhirnya infiltrasi sebagaimana tertera pada Gambar 78 sampai dengan 80.



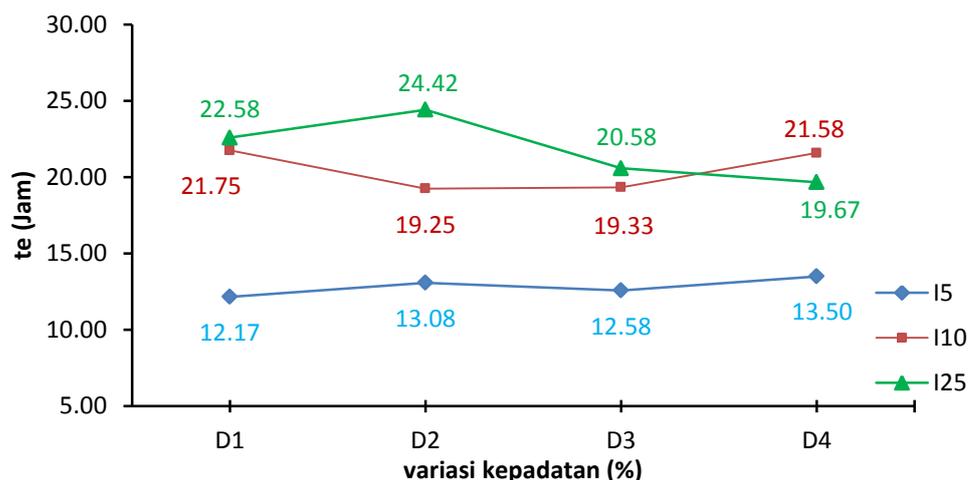
Gambar 78. Pengaruh Kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) Waktu Akhir Infiltrasi (t_e) Pada Sampel Tanah Satu (SS_1) dengan Intensitas hujan, (I_5 , I_{10} , dan I_{25})

Pada Gambar 78 untuk sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,00384$ mm/det pada intensitas curah hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam menunjukkan bahwa untuk kepadatan awal (D_1) memperlihatkan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 7,75 jam, untuk kepadatan (D_2) dengan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 8,92 jam, kepadatan (D_3) dengan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 8,92 jam dan kepadatan (D_4) dengan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 7,25 jam.

Untuk intensitas curah hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam memperlihatkan bahwa untuk kepadatan awal (D_1) menunjukkan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 11,92 jam, untuk kepadatan (D_2) dengan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 11,50 jam, kepadatan (D_3) dengan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 11,75 jam dan kepadatan (D_4) dengan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 12,33 jam

Sedangkan untuk intensitas curah hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam memperlihatkan bahwa untuk kepadatan awal (D_1) menunjukkan waktu

akhir infiltrasi (t_e) = 13,33 jam, untuk kepadatan (D_2) dengan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 13,08 jam, kepadatan (D_3) dengan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 13,00 jam dan kepadatan (D_4) dengan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 12,92 jam.



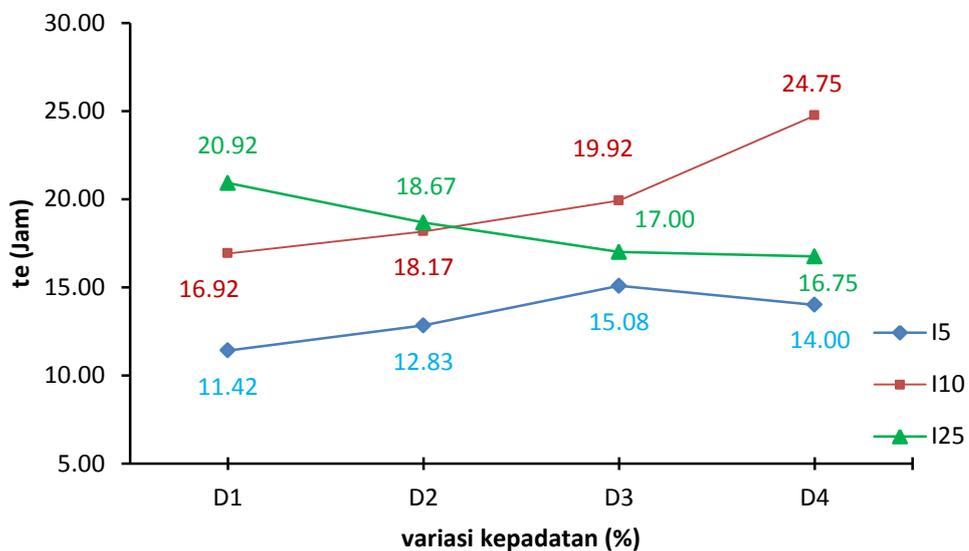
Gambar 79. Pengaruh Kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) Waktu Akhir Infiltrasi (t_e) Pada Sampel Tanah Dua (SS_2) dengan Intensitas hujan, (I_5 , I_{10} , dan I_{25})

Pada Gambar 79 untuk sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas $kp_2 = 0,0011$ mm/det pada intensitas curah hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam memperlihatkan bahwa untuk kepadatan awal (D_1) menunjukkan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 12,17 jam, untuk kepadatan (D_2) dengan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 13,08 jam, kepadatan (D_3) dengan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 12,58 jam dan kepadatan (D_4) dengan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 13,50 jam.

Untuk intensitas curah hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam memperlihatkan bahwa untuk kepadatan awal (D_1) menunjukkan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 21,75 jam, untuk kepadatan (D_2) waktu akhir infiltrasi (t_e) = 19,25 jam,

kepadatan (D_3) dengan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 19,33 jam dan kepadatan (D_4) dengan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 21,58 jam

Sedangkan untuk intensitas curah hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam terlihat bahwa untuk kepadatan awal (D_1) menunjukkan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 22,58 jam, kepadatan (D_2) dengan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 24,42 jam, kepadatan (D_3) dengan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 20,58 jam dan kepadatan (D_4) dengan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 19,67 jam.



Gambar 80. Pengaruh Kerapatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) Waktu Akhir Infiltrasi (t_e) Pada Sampel Tanah 3 (SS_3) dengan Intensitas hujan, (I_5 , I_{10} , dan I_{25})

Pada Gambar 80 untuk sampel tanah Tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas $k_3 = 0,00160$. mm/det pada intensitas curah hujan $I_5 = 246,841$ mm/jam nampak bahwa untuk kepadatan awal (D_1) menunjukkan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 11,42 jam, kepadatan (D_2) dengan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 12,83 jam, kepadatan (D_3) dengan waktu akhir infiltrasi (t_e)

= 15,08 jam dan kepadatan (D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 14,00 jam.

Untuk intensitas curah hujan $I_{10} = 290,335$ mm/jam terlihat bahwa untuk kepadatan awal (D_1) menunjukkan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 16,92 jam, kepadatan (D_2) dengan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 18,17 jam, kepadatan (D_3) dengan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 19,92 jam dan kepadatan (D_4) dengan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 24,75 jam

Sedangkan untuk intensitas curah hujan $I_{25} = 344,900$ mm/jam terlihat bahwa untuk kepadatan awal (D_1) menunjukkan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 20,92 jam, kepadatan (D_2) dengan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 18,67 jam, kepadatan (D_3) dengan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 17,00 jam dan kepadatan (D_4) dengan waktu akhir infiltrasi (t_e) = 16,75 jam. Rangkuman parameter kepadatan dan pemampatan tanah akibat intensitas curah hujan yang diuraikan berdasarkan Gambar 78 sampai dengan 80 disajikan dalam Tabel 21.

Pada Tabel 21 tersebut menunjukkan bahwa waktu akhir infiltrasi (t_e) semakin lama akibat pengaruh variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) untuk tiga sampel tanah (SS_1 , SS_2 dan SS_3) baik pada intensitas I_5 , I_{10} , maupun I_{25} .

Tabel 21. Parameter Waktu Akhir Infiltrasi (t_e) Terhadap Pengaruh Kepadatan pada sampel tanah satu, tanah dua dan tanah tiga (SS_1 , SS_2 dan SS_3)

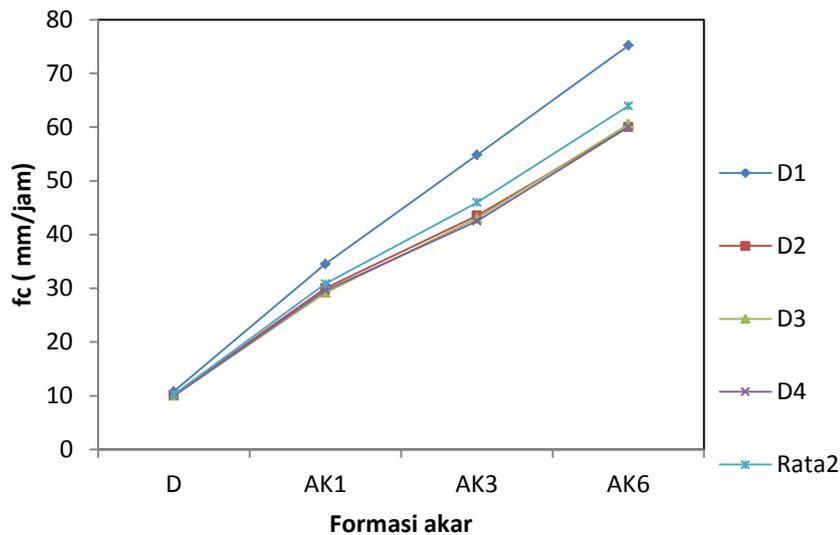
No	Sampel	Kepadatan	te (Jam)		
			I5	I10	I25
1	SS1-D1	D1	8.83	11.92	13.33
2	SS1-D2	D2	8.92	11.50	13.08
3	SS1-D3	D3	8.92	11.75	13.00
4	SS1-D4	D4	8.75	12.33	12.92
5	SS2-D1	D1	12.17	21.75	22.58
6	SS2-D2	D2	13.08	19.25	24.42
7	SS2-D3	D3	12.58	19.33	20.58
8	SS2-D4	D4	13.50	21.58	19.67
9	SS3-D1	D1	11.42	16.92	20.92
10	SS3-D2	D2	12.83	18.17	18.67
11	SS3-D3	D3	15.08	19.92	17.00
12	SS3-D4	D4	14.00	24.75	16.75

E. Hubungan Antar Parameter Pada Pengujian Dengan Pengaruh Akar Pohon

8. Pengaruh formasi akar terhadap kapasitas infiltrasi (fc) dengan empat variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) pada sampel tanah satu (SS_1) untuk intensitas I_5 , I_{10} , dan I_{25}

Untuk mengetahui pengaruh formasi akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) terhadap kapasitas infiltrasi (fc) dengan empat variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) pada sampel tanah satu (SS_1) untuk tiga intensitas curah hujan (I_5 , I_{10} , dan I_{25}) maka data hasil amatannya digambarkan pada Gambar 81 sampai Gambar 83.

Pada Gambar 81 untuk intensitas $I_5 = 246,841 \text{ mm/jam}$ pada sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,00384 \text{ mm/det}$, menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa akar, variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi berturut-turut $10,80 \text{ mm/jam}$, $10,10 \text{ mm/jam}$, $10,00 \text{ mm/jam}$, dan $10,00 \text{ mm/jam}$. Rata-rata kapasitas infiltrasi (fc) dari empat variasi kepadatan adalah $(fc) = 10,225 \text{ mm/jam}$.

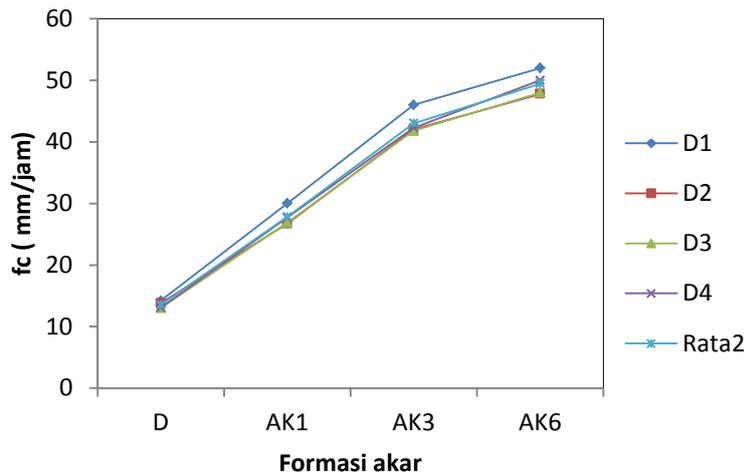


Gambar 81. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Kapasitas Infiltrasi Konstan (f_c) Pada Sampel Tanah satu (SS_1) dengan Intensitas hujan I_5

Untuk formasi akar satu (Ak_1) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (f_c) berturut-turut 34,50 mm/jam, 30,00 mm/jam, 29,20 mm/jam, dan 29,6 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 30,825 mm/jam.

Untuk formasi akar tiga (Ak_3) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (f_c) berturut-turut 54,8 mm/jam, 43,50 mm/jam, 43,00 mm/jam, dan 42,50 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 45,95 mm/jam.

Untuk formasi akar enam (Ak_6) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (f_c) berturut-turut 75,2 mm/jam, 60 mm/jam, 60,5 mm/jam, dan 60 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 63,925 mm/jam.



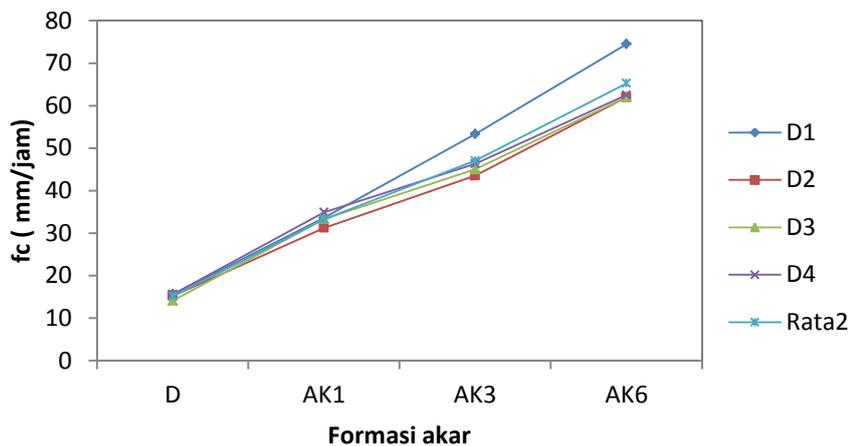
Gambar 82. Pengaruh kerapatan formasi akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) terhadap kapasitas infiltrasi konstan (f_c) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan intensitas hujan I_{10}

Pada Gambar 82 untuk intensitas $I_{10} = 290,335$ mm/jam pada sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien permeabilitas $k_{p1} = 0,00384$ mm/det, menunjukkan bahwa kondisi tanpa akar, dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi berturut-turut 14,20 mm/jam, 13,80 mm/jam, 13,00 mm/jam, dan 13,10 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 13,53 mm/jam.

Untuk formasi akar satu (Ak_1) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (f_c) berturut-turut 30,00 mm/jam, 26,70 mm/jam, 26,90 mm/jam, dan 27,70 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 27,83 mm/jam.

Untuk formasi akar tiga (Ak_3) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (f_c) berturut-turut 46,00 mm/jam, 42,00 mm/jam, 41,80 mm/jam, dan 42,3 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 43,03 mm/jam.

Untuk formasi akar enam (Ak_6) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (f_c) berturut-turut 52 mm/jam, 47,80 mm/jam, 48,00 mm/jam, dan 50,00 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 49,45 mm/jam.



Gambar 83. Pengaruh kerapatan formasi akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) terhadap kapasitas infiltrasi konstan (f_c) pada sampel tanah satu (SS_1) dengan intensitas hujan I_{25}

Pada Gambar 83 untuk intensitas $I_{25} = 344,900$ mm/jam pada sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,00384$ mm/det, menunjukkan bahwa kondisi tanpa akar (D) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi berturut-turut 15,60 mm/jam, 15,20 mm/jam, 14,10 mm/jam, dan 15,60 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 15,13 mm/jam.

Untuk formasi akar satu (Ak_1) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , & D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (f_c) berturut-turut 33,60 mm/jam, 31,20 mm/jam, 33,30 mm/jam, dan 34,90 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 33,25 mm/jam.

Untuk formasi akar tiga (Ak_3) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (f_c) berturut-turut 53,30 mm/jam, 43,50 mm/jam, 45,00 mm/jam, dan 46,30 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 47,03 mm/jam.

Untuk formasi akar enam (Ak_6) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (f_c) berturut-turut 74,50 mm/jam, 62,00 mm/jam, 62,00 mm/jam, dan 62,50 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 65,25 mm/jam.

Tabel 22. Parameter Kapasitas Infiltrasi Konstan (f_c), Pengaruh Kerapatan Formasi Akar Pada sampel tanah satu (SS_1) untuk intensitas I_5 , I_{10} dan I_{25}

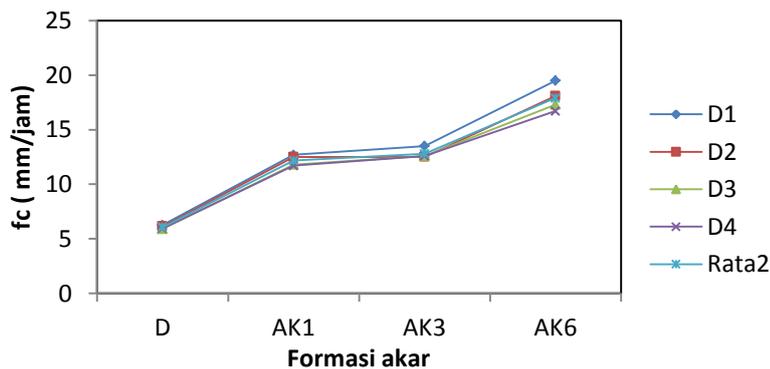
No	Sampel	Skema	f_c (mm/jam)				Rata-rata	Kenaikan %
			D1	D2	D3	D4		
1	SS-1	SS1-I5	10.8	10.1	10	10	10.225	0.00
2	SS-1	SS1-I5-AK1	34.5	30	29.2	29.6	30.825	201.12
3	SS-1	SS1-I5-AK3	54.8	43.5	43	42.5	45.95	349.39
4	SS-1	SS1-I5-AK6	75.2	60	60.5	60	63.925	525.18
5	SS-1	SS1-I10	14.20	13.80	13.00	13.10	13.53	0.00
6	SS-1	SS1-I10-AK1	30.00	26.70	26.90	27.70	27.83	105.78
7	SS-1	SS1-I10-AK3	46.00	42.00	41.80	42.30	43.03	218.11
8	SS-1	SS1-I10-AK6	52.00	47.80	48.00	50.00	49.45	265.62
9	SS-1	SS1-I25	15.60	15.20	14.10	15.60	15.13	0.00
10	SS-1	SS1-I25-AK1	33.60	31.20	33.30	34.90	33.25	119.83
11	SS-1	SS1-I25-AK3	53.30	43.50	45.00	46.30	47.03	210.91
12	SS-1	SS1-I25-AK6	74.50	62.00	62.00	62.50	65.25	331.40

Dari Tabel 22 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kapasitas infiltrasi (f_c) akibat pengaruh variasi formasi akar (D , Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6)

pada sampel tanah satu (SS₁) untuk intensitas (I₅, I₁₀, dan I₂₅) baik pada kepadatan D₁, D₂, D₃ maupun D₄.

9. Pengaruh formasi akar terhadap kapasitas infiltrasi (fc) dengan empat variasi kepadatan (D₁, D₂, D₃ dan D₄) pada sampel tanah dua (SS₂) untuk intensitas I₅, I₁₀, dan I₂₅

Untuk mengetahui pengaruh formasi akar (D, Ak₁, Ak₃ dan Ak₆) terhadap kapasitas infiltrasi (fc) dengan empat variasi kepadatan (D₁, D₂, D₃ dan D₄) pada sampel tanah dua (SS₂) untuk tiga intensitas curah hujan (I₅, I₁₀ dan I₂₅) maka data hasil amatan sebagaimana yang ditampilkan pada Gambar 84 sampai dengan 86.



Gambar 84. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak₁, Ak₃ dan Ak₆) Terhadap Kapasitas Infiltrasi Konstan (fc) Pada Sampel Tanah dua (SS₂) dengan Intensitas hujan, I₅

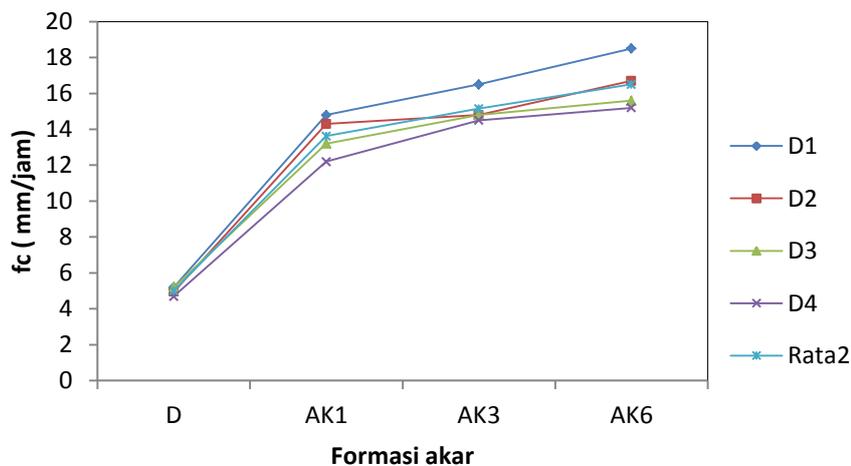
Pada Gambar 84 untuk intensitas I₅ = 246,841 mm/jam pada sampel tanah dua (SS₂) dengan koefisien permeabilitas k_{p2} = 0,00110 mm/det, menunjukkan bahwa kondisi tanah tanpa akar, dengan variasi kepadatan (D₁, D₂, D₃ dan D₄) menghasilkan kapasitas infiltrasi berturut-turut 6,25 mm/jam, 6,15 mm/jam, 5,9 mm/jam, dan 5,95 mm/jam. Rata-

rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 6,06 mm/jam.

Untuk formasi akar satu (Ak_1) dengan variasi kepadatan (D_1, D_2, D_3 dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (f_c) berturut-turut 12,70 mm/jam, 12,50 mm/jam, 11,80 mm/jam, dan 11,70 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 12,175 mm/jam.

Untuk formasi akar tiga (Ak_3) dengan variasi kepadatan (D_1, D_2, D_3 dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (f_c) berturut-turut 13,50 mm/jam, 12,50 mm/jam, 12,60 mm/jam, dan 12,60 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 12,8 mm/jam.

Untuk formasi akar enam (Ak_6) dengan variasi kepadatan (D_1, D_2, D_3 dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (f_c) berturut-turut 19,50 mm/jam, 18,10 mm/jam, 17,30 mm/jam, dan 16,70 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 17,90 mm/jam.



Gambar 85. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Kapasitas Infiltrasi Konstan (f_c) Pada Sampel Tanah dua (SS_2) dengan Intensitas hujan I_{10}

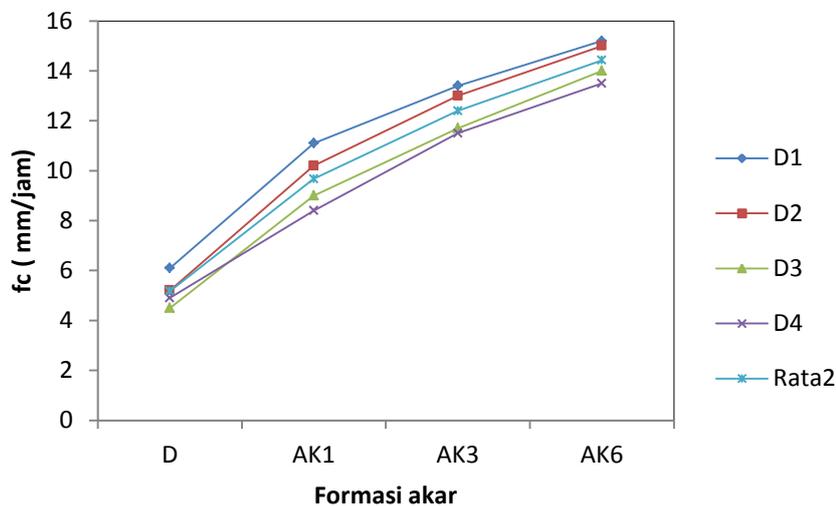
Pada Gambar 85 untuk intensitas $I_{10} = 290,335$ mm/jam pada sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas $kp_2 = 0,00110$ mm/det, menunjukkan bahwa kondisi tanah tanpa akar dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi berturut-turut 5,20 mm/jam, 4,95 mm/jam, 5,20 mm/jam, dan 4,70 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 5,01 mm/jam.

Untuk formasi akar satu (Ak_1) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (f_c) berturut-turut 14,80 mm/jam, 14,30 mm/jam, 13,20 mm/jam, dan 12,20 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 13,63 mm/jam.

Untuk formasi akar tiga (Ak_3) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (f_c) berturut-turut 16,50 mm/jam, 14,80 mm/jam, 14,80 mm/jam, dan 14,50 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 15,15 mm/jam.

Untuk formasi akar enam (Ak_6) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (f_c) berturut-turut 18,50 mm/jam, 16,70 mm/jam, 15,60 mm/jam, dan 15,20 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 16,50 mm/jam.

Pada Gambar 86 untuk intensitas $I_{25} = 344,900$ mm/jam pada sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas $kp_2 = 0,00110$ mm/det, menunjukkan bahwa kondisi tanah tanpa akar dengan variasi kepadatan (D_1, D_2, D_3 dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi berturut-turut 6,10 mm/jam, 5,20 mm/jam, 4,50 mm/jam, dan 4,90 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 5,18 mm/jam.



Gambar 86. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1, Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Kapasitas Infiltrasi Konstan (f_c) Pada Sampel Tanah dua (SS_2) dengan Intensitas hujan I_{25}

Untuk formasi akar satu (Ak_1) dengan variasi kepadatan (D_1, D_2, D_3 dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (f_c) berturut-turut 11,10 mm/jam, 10,20 mm/jam, 9,00 mm/jam, dan 8,40 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 9,68 mm/jam.

Untuk formasi akar tiga (Ak_3) dengan variasi kepadatan (D_1, D_2, D_3 dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (f_c) berturut-turut 13,40 mm/jam,

13,00 mm/jam, 11,70 mm/jam, dan 11,50 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 12,40 mm/jam.

Untuk formasi akar enam (Ak_6) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (f_c) berturut-turut 15,20 mm/jam, 15,00 mm/jam, 14,00 mm/jam, dan 13,50 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 14,43 mm/jam.

Parameter kapasitas infiltrasi (f_c) dengan pengaruh kerapatan formasi akar untuk sampel tanah 2 (SS_2) dengan berbagai variasi intensitas curah hujan I_5 , I_{10} dan I_{25} ditunjukkan pada tabel 23 berikut ini:

Tabel 23. Parameter Kapasitas Infiltrasi Konstan (f_c), Pengaruh Kerapatan Formasi Akar Pada sampel tanah dua (SS_2) untuk intensitas I_5 , I_{10} dan I_{25}

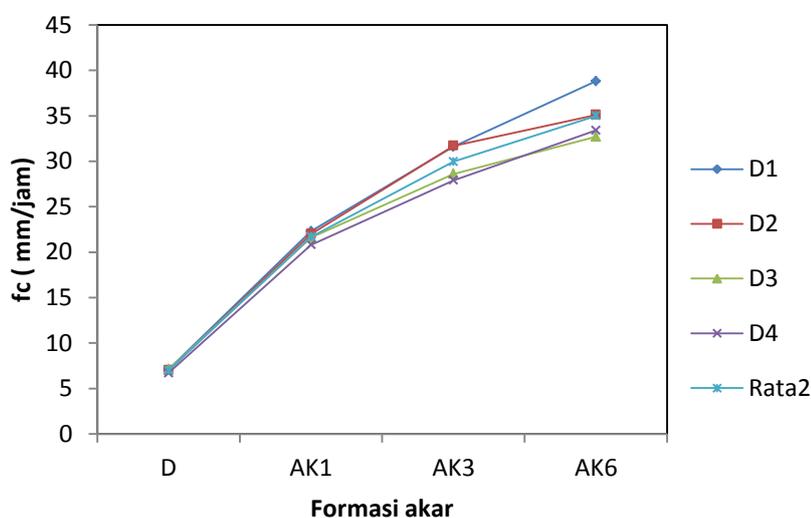
No	Sampel	Skema	f_c (mm/jam)				Rata-rata	Kenaikan %
			D1	D2	D3	D4		
1	SS-2	SS2-I5	6.25	6.15	5.9	5.95	6.0625	0.00
2	SS-2	SS2-I5-AK1	12.7	12.5	11.8	11.70	12.175	100.82
3	SS-2	SS2-I5-AK3	13.5	12.5	12.6	12.60	12.8	111.13
4	SS-2	SS2-I5-AK6	19.5	18.1	17.3	16.70	17.9	195.26
5	SS-2	SS2-I10	5.2	4.95	5.2	4.7	5.01	0.00
6	SS-2	SS2-I10-AK1	14.80	14.30	13.20	12.20	13.63	171.82
7	SS-2	SS2-I10-AK3	16.50	14.80	14.80	14.50	15.15	202.24
8	SS-2	SS2-I10-AK6	18.50	16.70	15.60	15.20	16.50	229.18
9	SS-2	SS2-I25	6.1	5.2	4.5	4.9	5.18	0.00
10	SS-2	SS2-I25-AK1	11.10	10.20	9.00	8.40	9.68	86.96
11	SS-2	SS2-I25-AK3	13.40	13.00	11.70	11.50	12.40	139.61
12	SS-2	SS2-I25-AK6	15.20	15.00	14.00	13.50	14.43	178.74

Dari Tabel 23 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kapasitas infiltrasi (f_c) akibat pengaruh variasi formasi akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah dua (SS_2) untuk intensitas (I_5 , I_{10} , dan I_{25}) baik pada kepadatan D_1 , D_2 , D_3 maupun D_4

10. Pengaruh formasi akar terhadap kapasitas infiltrasi (f_c) dengan empat variasi kepadatan (D_1, D_2, D_3 dan D_4) pada sampel tanah tiga (SS_3) untuk intensitas I_5, I_{10} , dan I_{25}

Untuk mengetahui pengaruh formasi akar (Ak_1, Ak_3 & Ak_6) terhadap kapasitas infiltrasi (f_c) dengan empat variasi kepadatan (D_1, D_2, D_3 dan D_4) pada sampel tanah tiga (SS_3) untuk tiga intensitas curah hujan (I_5, I_{10} , & I_{25}) maka data hasil amatan disajikan pada Gambar 87 sampai Gambar 89.

Pada Gambar 87 untuk intensitas $I_5 = 246,841$ mm/jam pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas $kp_3 = 0,00160$ mm/det, menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa akar, dengan variasi kepadatan (D_1, D_2, D_3 dan D_4) terlihat bahwa kapasitas infiltrasi berturut-turut sebesar



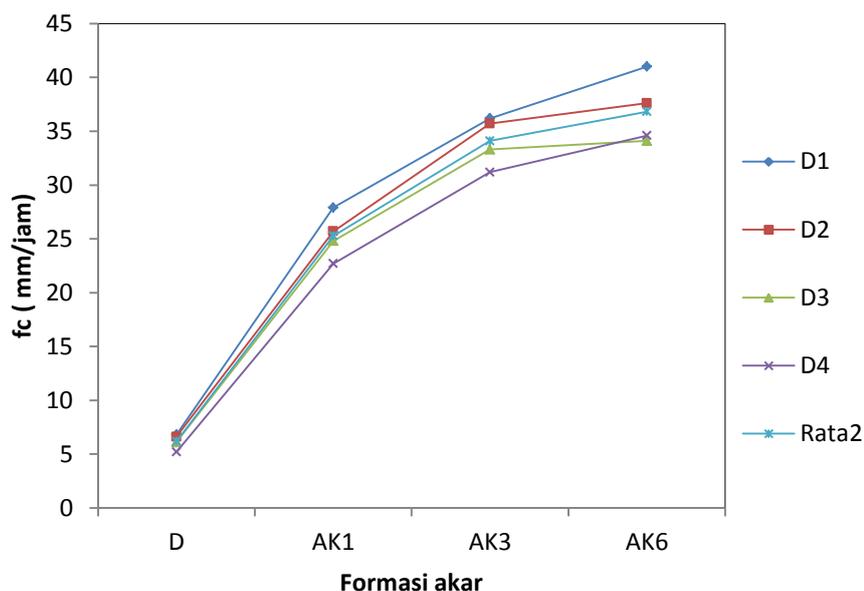
Gambar 87. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1, Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Kapasitas Infiltrasi Konstan (f_c) Pada Sampel Tanah tiga (SS_3) dengan Intensitas hujan I_5

7,10 mm/jam, 7,00 mm/jam, 7,10 mm/jam, dan 6,70 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (fc) dari empat variasi kepadatan adalah (fc) = 6,975 mm/jam.

Untuk formasi akar satu (Ak_1) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (fc) berturut-turut 22,30 mm/jam, 22,00 mm/jam, 21,60 mm/jam, dan 20,80 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (fc) dari empat variasi kepadatan adalah (fc) = 21,675 mm/jam.

Untuk formasi akar tiga (Ak_3) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (fc) berturut-turut 31,60 mm/jam, 31,70 mm/jam, 28,60 mm/jam, dan 27,90 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (fc) dari empat variasi kepadatan adalah (fc) = 29,75 mm/jam.

Untuk formasi akar enam (Ak_6) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (fc) berturut-turut 38,8 mm/jam, 35,1 mm/jam, 32,7 mm/jam, dan 33,40 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (fc) dari empat variasi kepadatan adalah (fc) = 35,00 mm/jam.



Gambar 88. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Kapasitas Infiltrasi Konstan (f_c) Pada Sampel Tanah tiga (SS_3) dengan Intensitas hujan I_{10}

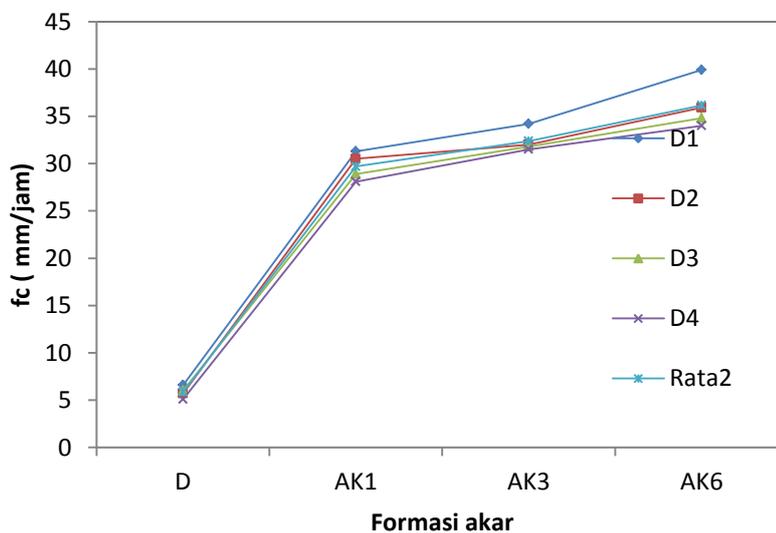
Pada Gambar 88 untuk intensitas $I_{10} = 290,335$ mm/jam pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas $kp_3 = 0,00160$ mm/det, menunjukkan bahwa kondisi tanah tanpa akar dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi berturut-turut 6,80 mm/jam, 6,60 mm/jam, 6,10 mm/jam, dan 5,20 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari 4 variasi kepadatan adalah (f_c) = 6,18 mm/jam.

Untuk formasi akar satu (Ak_1) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (f_c) berturut-turut 27,90 mm/jam, 25,70 mm/jam, 24,80 mm/jam, dan 22,70 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 25,28 mm/jam.

Untuk formasi akar tiga (Ak_3) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (f_c) berturut-turut 36,20 mm/jam,

35,70 mm/jam, 33,30 mm/jam, dan 31,20 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 34,10 mm/jam.

Untuk formasi akar enam (Ak_6) terhadap variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (f_c) berturut-turut 41,00 mm/jam, 37,60 mm/jam, 34,10 mm/jam, dan 34,60 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 36,83 mm/jam.



Gambar 89. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Kapasitas Infiltrasi Konstan (f_c) Pada Sampel Tanah tiga (SS_3) dengan Intensitas hujan I_{25}

Pada Gambar 89 untuk intensitas $I_{25} = 344,900$ mm/jam pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas $kp_3 = 0,00160$ mm/det, menunjukkan bahwa kondisi tanah tanpa akar dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi berturut-turut 6,60 mm/jam, 5,70 mm/jam, 6,00 mm/jam, dan 5,10 mm/jam. Rata-

rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 5,85 mm/jam.

Untuk formasi akar satu (Ak_1) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (f_c) berturut-turut 31,30 mm/jam, 30,50 mm/jam, 28,90 mm/jam, dan 28,10 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 29,70 mm/jam.

Untuk formasi akar tiga (Ak_3) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (f_c) berturut-turut 34,20 mm/jam, 32,00 mm/jam, 31,80 mm/jam, dan 31,50 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 32,38 mm/jam.

Untuk formasi akar enam (Ak_6) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menghasilkan kapasitas infiltrasi (f_c) berturut-turut 39,90 mm/jam, 35,90 mm/jam, 34,80 mm/jam, dan 34,00 mm/jam. Rata-rata kapasitas infiltrasi (f_c) dari empat variasi kepadatan adalah (f_c) = 36,15 mm/jam.

Pada Tabel 24 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kapasitas infiltrasi (f_c) akibat pengaruh variasi formasi akar (D , Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah tiga (SS_3) untuk intensitas (I_5 , I_{10} , dan I_{25}) baik pada kepadatan D_1 , D_2 , D_3 maupun D_4

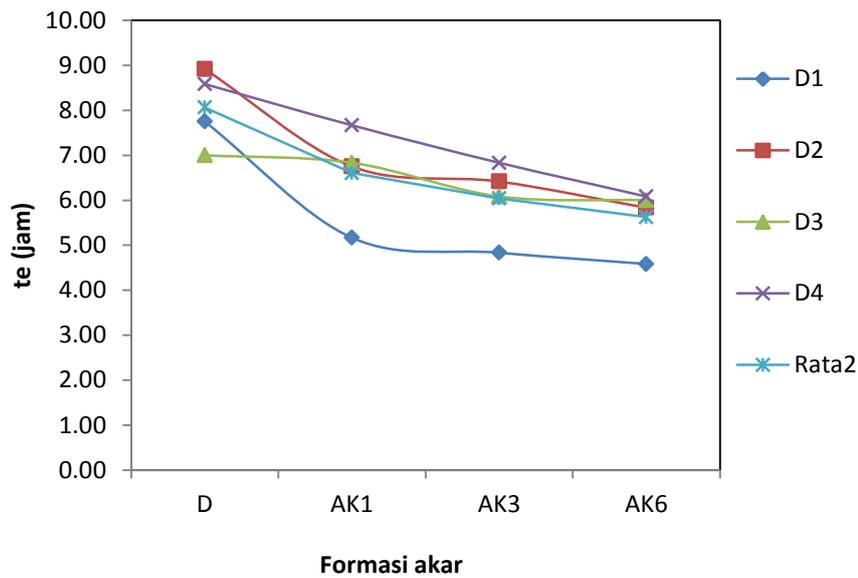
Tabel 24. Parameter Kapasitas Infiltrasi Konstan (f_c), Pengaruh Kerapatan Formasi Akar Pada sampel tanah tiga (SS_3) untuk intensitas I_5 , I_{10} dan I_{25}

No	Sampel	Skema	fc (mm/jam)				Rata-rata	Kenaikan %
			D1	D2	D3	D4		
1	SS-3	SS3-I5	7.1	7	7.1	6.70	6.975	0.00
2	SS-3	SS3-I5-AK1	22.3	22	21.6	20.80	21.675	210.75
3	SS-3	SS3-I5-AK3	31.6	31.7	28.6	27.90	29.95	329.39
4	SS-3	SS3-I5-AK6	38.8	35.1	32.7	33.40	35	401.79
5	SS-3	SS3-I10	6.80	6.60	6.10	5.20	6.18	0.00
6	SS-3	SS3-I10-AK1	27.90	25.70	24.80	22.70	25.28	309.31
7	SS-3	SS3-I10-AK3	36.20	35.70	33.30	31.20	34.10	452.23
8	SS-3	SS3-I10-AK6	41.00	37.60	34.10	34.60	36.83	496.36
9	SS-3	SS3-I25	6.60	5.70	6.00	5.10	5.85	0.00
10	SS-3	SS3-I25-AK1	31.30	30.50	28.90	28.10	29.70	407.69
11	SS-3	SS3-I25-AK3	34.20	32.00	31.80	31.50	32.38	453.42
12	SS-3	SS3-I25-AK6	39.90	35.90	34.80	34.00	36.15	517.95

11. Pengaruh formasi akar waktu akhir infiltrasi (te) dengan empat variasi kepadatan (D₁, D₂, D₃ dan D₄) pada sampel tanah satu (SS₁) untuk intensitas I₅, I₁₀, dan I₂₅

Untuk mengetahui pengaruh formasi akar (D, Ak₁, Ak₃ dan Ak₆) terhadap waktu akhir infiltrasi (te) dengan empat variasi kepadatan (D₁, D₂, D₃ dan D₄) pada sampel tanah satu (SS₁) untuk tiga intensitas curah hujan (I₅, I₁₀ dan I₂₅), maka data hasil amatan ditampilkan pada Gambar 90 sampai Gambar 92.

Pada Gambar 90 terlihat bahwa untuk intensitas I₅ = 246,841 mm/jam pada sampel tanah satu (SS₁) dengan koefisien permeabilitas k_{p1} = 0,00384 mm/det, menunjukkan bahwa kondisi tanah tanpa akar dengan variasi kepadatan (D₁, D₂, D₃ dan D₄) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 7,75 jam, 8,92 jam, 7,00 jam, dan 8,58 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (te) dari empat variasi kepadatan adalah (te) = 8,06 jam.

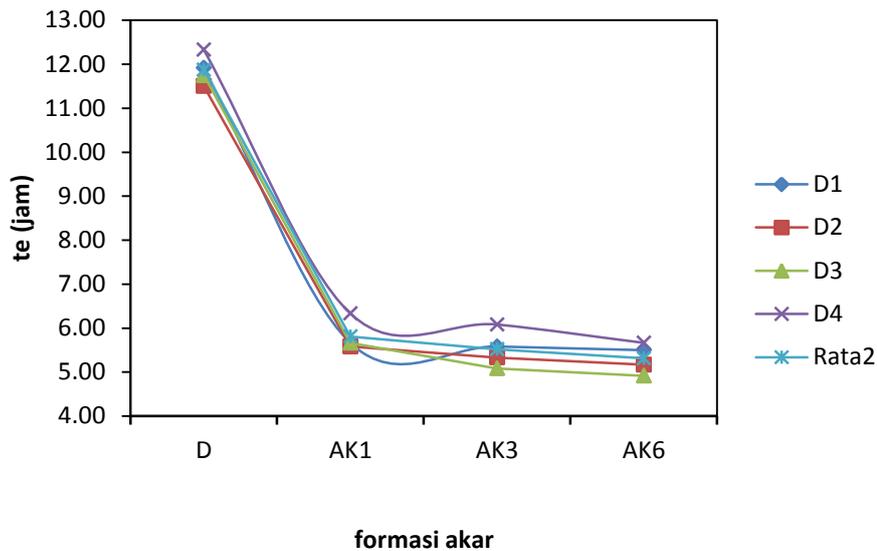


Gambar 90. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Waktu Akhir Infiltrasi (t_e) Pada Sampel Tanah satu (SS_1) dengan Intensitas hujan I_5

Untuk formasi akar satu (Ak_1) terhadap variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 5,17 jam, 6,75 jam, 6,83 jam, dan 7,67 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 6,60 jam.

Untuk formasi akar tiga (Ak_3) terhadap variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 4,83 jam, 6,42 jam, 6,08 jam, dan 6,83 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 6,04 jam.

Untuk formasi akar enam (Ak_6) terhadap variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 4,58 jam, 5,83 jam, 6,00 jam, dan 6,08 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 5,63 jam.



Gambar 91. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Waktu Akhir Infiltrasi (t_e) Pada Sampel Tanah satu (SS_1) dengan Intensitas hujan I_{10} .

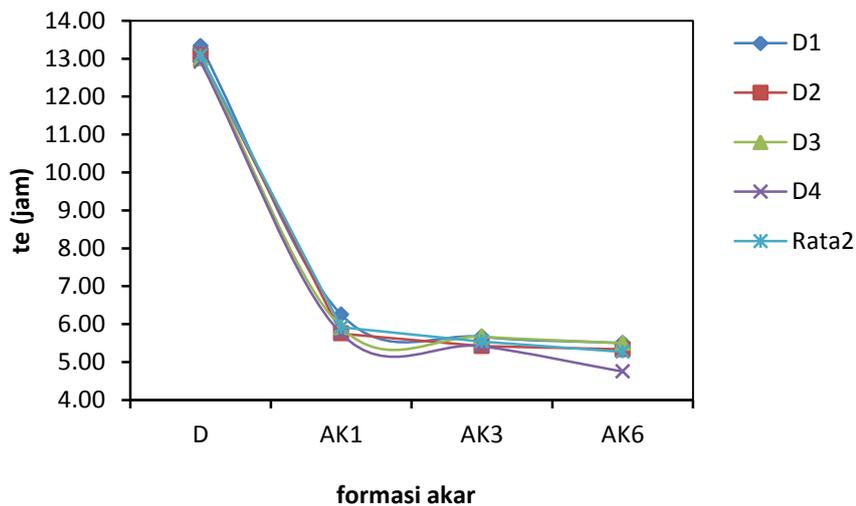
Pada Gambar 91 untuk intensitas $I_{10} = 290,335$ mm/jam pada sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien permeabilitas $kp_1 = 0,00384$ mm/det, menunjukkan bahwa kondisi tanah tanpa akar dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 11,92 jam, 11,50 jam, 11,75 jam, dan 12,33 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 11,87jam.

Untuk formasi akar satu (Ak_1) terhadap variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 5,67 jam, 5,58 jam, 5,67 jam, dan 6,33 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 5,81 jam.

Untuk formasi akar tiga (Ak_3) terhadap variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 5,58 jam, 5,33 jam, 5,08 jam, dan 6,08 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 5,52 jam.

Untuk formasi akar enam (Ak_6) terhadap variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 5,50 jam, 5,17 jam, 4,92 jam, dan 5,67 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 5,31 jam.

Pada Gambar 92 untuk intensitas $I_{25} = 344,900$ mm/jam pada sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien permeabilitas $k_{p1} = 0,00384$ mm/det, menunjukkan bahwa kondisi tanah tanpa akar dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut yakni



Gambar 92. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Waktu Akhir Infiltrasi (t_e) Pada Sampel Tanah satu (SS_1) dengan Intensitas hujan I_{25}

13,33 jam, 13,08 jam, 13,00 jam, dan 12,92 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 13,08jam.

Untuk formasi akar satu (Ak_1) terhadap variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 6,25 jam,

5,75jam, 5,92 jam, dan 5,75 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 5,92 jam.

Untuk formasi akar tiga (Ak_3) terhadap variasi kepadatan (D_1, D_2, D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 5,67 jam, 5,42 jam, 5,67 jam, dan 5,42 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 5,54 jam.

Untuk formasi akar enam (Ak_6) terhadap variasi kepadatan (D_1, D_2, D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 5,50 jam, 5,53 jam, 5,50 jam, dan 4,75 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 5,27 jam.

Tabel 25. Parameter Waktu Akhir Infiltrasi (t_e), Pengaruh Kerapatan Formasi Akar Pada sampel tanah satu (SS_1) untuk intensitas I_5, I_{10} dan I_{25}

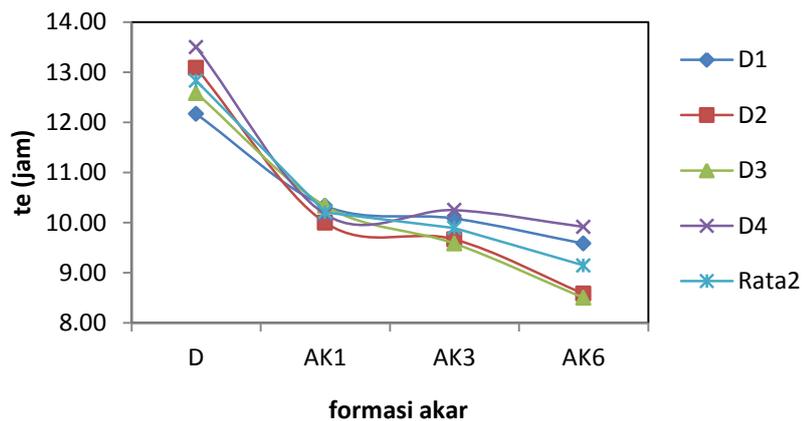
No	Sampel	Skema	t_e (jam)				Rata-rata
			D1	D2	D3	D4	
1	SS-1	SS1-I5	7.75	8.92	7.00	8.58	8.06
2	SS-1	SS1-I5-AK1	5.17	6.75	6.83	7.67	6.60
3	SS-1	SS1-I5-AK3	4.83	6.42	6.08	6.83	6.04
4	SS-1	SS1-I5-AK6	4.58	5.83	6.00	6.08	5.63
5	SS-1	SS1-I10	11.92	11.50	11.75	12.33	11.87
6	SS-1	SS1-I10-AK1	5.67	5.58	5.67	6.33	5.81
7	SS-1	SS1-I10-AK3	5.58	5.33	5.08	6.08	5.52
8	SS-1	SS1-I10-AK6	5.50	5.17	4.92	5.67	5.31
9	SS-1	SS1-I25	13.33	13.08	13.00	12.92	13.08
10	SS-1	SS1-I25-AK1	6.25	5.75	5.92	5.75	5.92
11	SS-1	SS1-I25-AK3	5.67	5.42	5.67	5.42	5.54
12	SS-1	SS1-I25-AK6	5.50	5.33	5.50	4.75	5.27

Dari Tabel 25 terlihat bahwa waktu akhir infiltrasi (t_e) semakin cepat akibat pengaruh variasi formasi akar (Ak_1, Ak_3 dan Ak_6) pada sampel

tanah satu (SS_1) untuk intensitas (I_5 , I_{10} , dan I_{25}) baik pada kepadatan D_1 , D_2 , D_3 maupun D_4

12. Pengaruh formasi akar waktu akhir infiltrasi (t_e) dengan empat variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) pada sampel tanah dua (SS_2) untuk intensitas I_5 , I_{10} , dan I_{25}

Untuk mengetahui pengaruh formasi akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) terhadap waktu akhir infiltrasi (t_e) dengan empat variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) pada sampel tanah dua (SS_2) untuk tiga intensitas curah hujan (I_5 , I_{10} , dan I_{25}), maka data hasil amatan diperlihatkan pada Gambar 93 sampai 95.



Gambar 93. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Waktu Akhir Infiltrasi (t_e) Pada Sampel Tanah dua (SS_2) dengan Intensitas hujan I_5

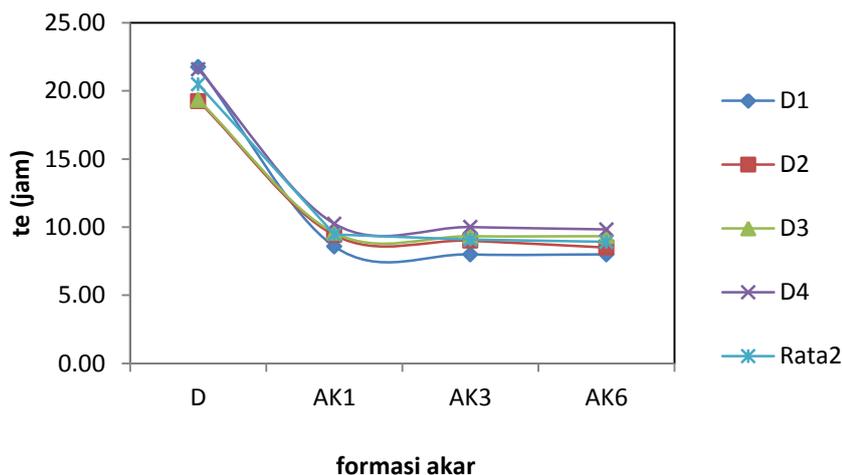
Pada Gambar 93 untuk intensitas $I_5 = 246,841$ mm/jam pada sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas $kp_2 = 0,00110$ mm/det, kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 12,17 jam, 13,08 jam, 12,58 jam, dan 13,50 jam. Rata-rata

waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 12,83 jam.

Untuk formasi akar satu (Ak_1) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 10,33 jam, 10 jam, 10,33 jam, dan 10,17 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 10,21 jam.

Untuk formasi akar tiga (Ak_3) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 10,08 jam, 9,67 jam, 9,58 jam, dan 10,25 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari 4 variasi kepadatan adalah (t_e) = 9,90 jam.

Untuk formasi akar enam (Ak_6) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 9,58 jam, 8,58 jam, 8,50 jam, dan 9,92 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 9,15 jam.



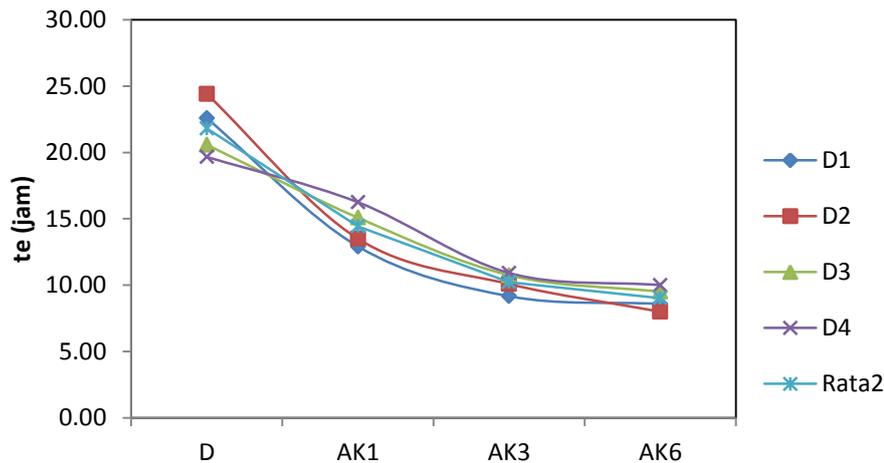
Gambar 94. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Waktu Akhir Infiltrasi (t_e) Pada Sampel Tanah dua (SS_2) dengan Intensitas hujan I_{10}

Pada Gambar 94 untuk intensitas $I_{10} = 290,335$ mm/jam pada sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas $kp_2 = 0,00110$ mm/det, menunjukkan bahwa kondisi tanah tanpa akar dengan variasi kepadatan (D_1, D_2, D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 21,75 jam, 19,25 jam, 19,33 jam, dan 21,58 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 20,48 jam.

Untuk formasi akar satu (Ak_1) dengan variasi kepadatan (D_1, D_2, D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 8,58 jam, 9,42 jam, 9,58 jam, dan 10,25 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 9,46 jam.

Untuk formasi akar tiga (Ak_3) terhadap variasi kepadatan (D_1, D_2, D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 8,00 jam, 9,00 jam, 9,33 jam, dan 10,00 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 9,08 jam.

Untuk formasi akar enam (Ak_6) terhadap variasi kepadatan (D_1, D_2, D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 8,00 jam, 8,50 jam, 9,33 jam, dan 9,83 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 8,92 jam.



formasi akar

Gambar 95. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (AK_1 , AK_3 dan AK_6) Terhadap Waktu Akhir Infiltrasi (t_e) Pada Sampel Tanah dua (SS_2) dengan Intensitas hujan I_{25}

Pada Gambar 95 untuk intensitas $I_{25} = 344,900$ mm/jam pada sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas $k_2 = 0,00110$ mm/det, menunjukkan bahwa kondisi tanah tanpa akar dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 22,58 jam, 24,42 jam, 20,58 jam, dan 19,67 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 21,81 jam.

Untuk formasi akar satu (AK_1) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 12,92 jam, 13,50 jam, 15,08 jam, dan 16,25 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 14,44 jam.

Untuk formasi akar tiga (AK_3) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 9,17 jam, 10,08 jam, 10,75 jam, dan 10,92 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 10,23 jam.

Untuk formasi akar enam (Ak_6) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 8,58 jam, 8,00 jam, 9,50 jam, dan 10,00 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 9,02 jam.

Pada Tabel 26 menunjukkan bahwa waktu akhir infiltrasi (t_e) semakin cepat akibat pengaruh variasi formasi akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) pada sampel tanah dua (SS_2) untuk intensitas (I_5 , I_{10} , dan I_{25}) baik pada kepadatan D_1 , D_2 , D_3 maupun D_4

Tabel 26. Parameter Waktu Akhir Infiltrasi (t_e), Pengaruh Kerapatan Formasi Akar Pada sampel tanah dua (SS_2) untuk intensitas I_5 , I_{10} dan I_{25}

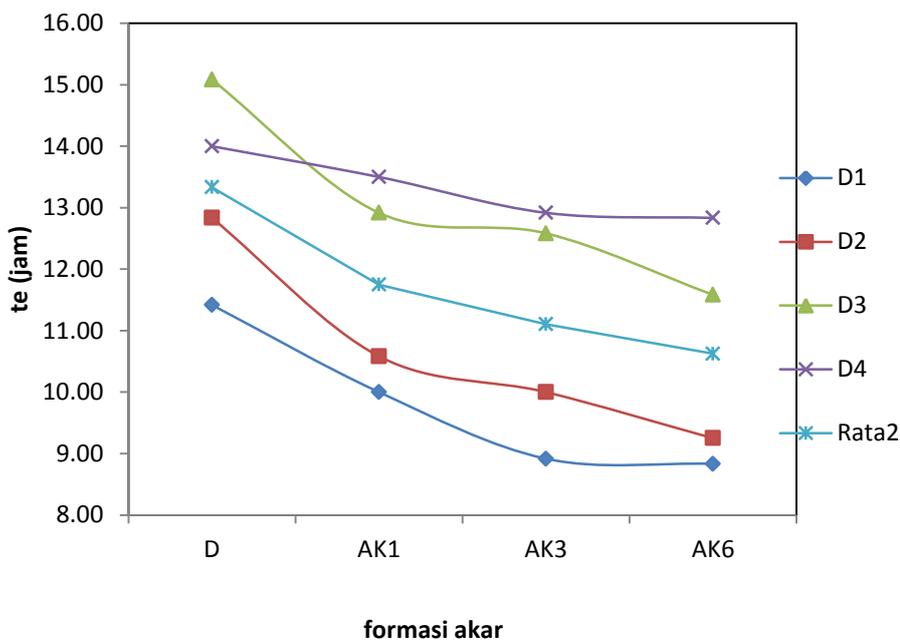
No	Sampel	Skema	t_e (jam)				Rata-rata
			D1	D2	D3	D4	
1	SS-2	SS2-I5	12.17	13.08	12.58	13.50	12.83
2	SS-2	SS2-I5-AK1	10.33	10.00	10.33	10.17	10.21
3	SS-2	SS2-I5-AK3	10.08	9.67	9.58	10.25	9.90
4	SS-2	SS2-I5-AK6	9.58	8.58	8.50	9.92	9.15
5	SS-2	SS2-I10	21.75	19.25	19.33	21.58	20.48
6	SS-2	SS2-I10-AK1	8.58	9.42	9.58	10.25	9.46
7	SS-2	SS2-I10-AK3	8.00	9.00	9.33	10.00	9.08
8	SS-2	SS2-I10-AK6	8.00	8.50	9.33	9.83	8.92
9	SS-2	SS2-I25	22.58	24.42	20.58	19.67	21.81
10	SS-2	SS2-I25-AK1	12.92	13.50	15.08	16.25	14.44
11	SS-2	SS2-I25-AK3	9.17	10.08	10.75	10.92	10.23
12	SS-2	SS2-I25-AK6	8.58	8.00	9.50	10.00	9.02

13. Pengaruh formasi akar waktu akhir infiltrasi (t_e) dengan empat variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) pada sampel tanah tiga (SS_3) untuk intensitas I_5 , I_{10} , dan I_{25}

Untuk mengetahui pengaruh formasi akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) terhadap waktu akhir infiltrasi (t_e) dengan empat variasi kepadatan (D_1 ,

D_2 , D_3 dan D_4) pada sampel tanah tiga (SS_3) untuk tiga intensitas curah hujan (I_5 , I_{10} , dan I_{25}), maka hasil amatan ditampilkan pada Gambar 96 sampai dengan 98.

Pada Gambar 96 untuk intensitas $I_5 = 246,841$ mm/jam pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas $kp_3 = 0,00160$ mm/det, menunjukkan bahwa kondisi tanah tanpa akar dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 11,42 jam, 12,83 jam, 15,08 jam, dan 14,00 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 13.33 jam.

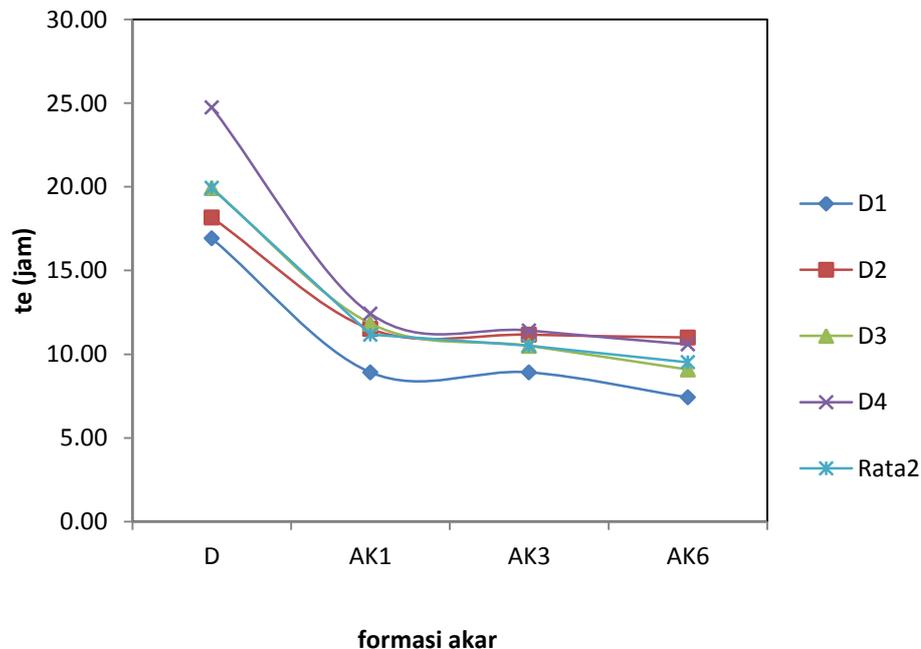


Gambar 96. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Waktu Akhir Infiltrasi (t_e) Pada Sampel Tanah tiga (SS_3) dengan Intensitas hujan I_5

Untuk formasi akar satu (Ak_1) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 10,00 jam, 10,58 jam, 12,92 jam, dan 13,50 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 11,75 jam.

Untuk formasi akar tiga (Ak_3) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 8,92 jam, 10,00 jam, 12,58 jam, dan 12,92 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 11,10 jam.

Untuk formasi akar enam (Ak_6) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 8,83 jam, 9,25 jam, 11,58 jam, dan 12,83 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 10,63 jam.



Gambar 97. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Waktu Akhir Infiltrasi (t_e) Pada Sampel Tanah tiga (SS_3) dengan Intensitas I_{10}

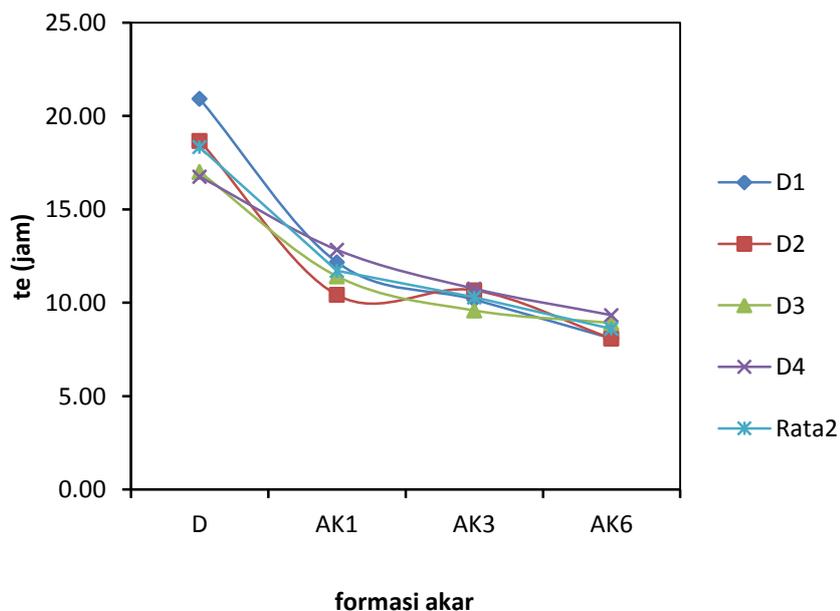
Pada Gambar 97 untuk intensitas $I_{10} = 290,335$ mm/jam pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas $kp_3 = 0,00160$ mm/det, menunjukkan bahwa kondisi tanah tanpa akar dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-

turut 16,92 jam, 18,17 jam, 19,92 jam, dan 24,75 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 19,94 jam.

Untuk formasi akar satu (Ak_1) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 8,92 jam, 11,50 jam, 11,83 jam, dan 12,42 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 11,17 jam.

Untuk formasi akar tiga (Ak_3) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 8,92 jam, 11,17 jam, 10,50 jam, dan 11,42 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 10,50 jam.

Untuk formasi akar enam (Ak_6) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 7,42 jam, 11,00 jam, 9,08 jam, dan 10,58 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 9,52 jam.



Gambar 98. Pengaruh Kerapatan Formasi Akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) Terhadap Waktu Akhir Infiltrasi (t_e) Pada Sampel Tanah tiga (SS_3) dengan Intensitas hujan I_{25}

Pada Gambar 98 untuk intensitas $I_{25} = 344,900$ mm/jam pada sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas $kp_3 = 0,00160$ mm/det, menunjukkan bahwa kondisi tanah tanpa akar dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 20,92 jam, 18,67 jam, 17,00 jam, dan 16,75 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 18,33 jam.

Untuk formasi akar satu (Ak_1) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 12,17 jam, 10,42 jam, 11,42 jam, dan 12,83 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari 4 variasi kepadatan adalah (t_e) = 11,71 jam.

Untuk formasi akar tiga (Ak_3) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 10,17 jam, 10,67 jam, 9,58 jam, dan 10,75 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 10,29 jam.

Untuk formasi akar enam (Ak_6) dengan variasi kepadatan (D_1 , D_2 , D_3 dan D_4) menunjukkan waktu akhir infiltrasi berturut-turut 8,08 jam, 8,08 jam, 8,92 jam, dan 9,33 jam. Rata-rata waktu akhir infiltrasi (t_e) dari empat variasi kepadatan adalah (t_e) = 8,60 jam. Rekapitulasi parameter waktu akhir infiltrasi pada sampel tanah tiga (SS_3) ditunjukkan pada Tabel 27 berikut:

Tabel 27. Parameter Waktu Akhir Infiltrasi (t_e), Pengaruh Kerapatan Formasi Akar Pada sampel tanah tiga (SS₃) untuk intensitas I₅, I₁₀ dan I₂₅

No	Sampel	Skema	t_e (jam)				Rata-rata
			D1	D2	D3	D4	
1	SS-3	SS3-I5	11.42	12.83	15.08	14.00	13.33
2	SS-3	SS3-I5-AK1	10.00	10.58	12.92	13.50	11.75
3	SS-3	SS3-I5-AK3	8.92	10.00	12.58	12.92	11.10
4	SS-3	SS3-I5-AK6	8.83	9.25	11.58	12.83	10.63
5	SS-3	SS3-I10	16.92	18.17	19.92	24.75	19.94
6	SS-3	SS3-I10-AK1	8.92	11.50	11.83	12.42	11.17
7	SS-3	SS3-I10-AK3	8.92	11.17	10.50	11.42	10.50
8	SS-3	SS3-I10-AK6	7.42	11.00	9.08	10.58	9.52
9	SS-3	SS3-I25	20.92	18.67	17.00	16.75	18.33
10	SS-3	SS3-I25-AK1	12.17	10.42	11.42	12.83	11.71
11	SS-3	SS3-I25-AK3	10.17	10.67	9.58	10.75	10.29
12	SS-3	SS3-I25-AK6	8.08	8.08	8.92	9.33	8.60

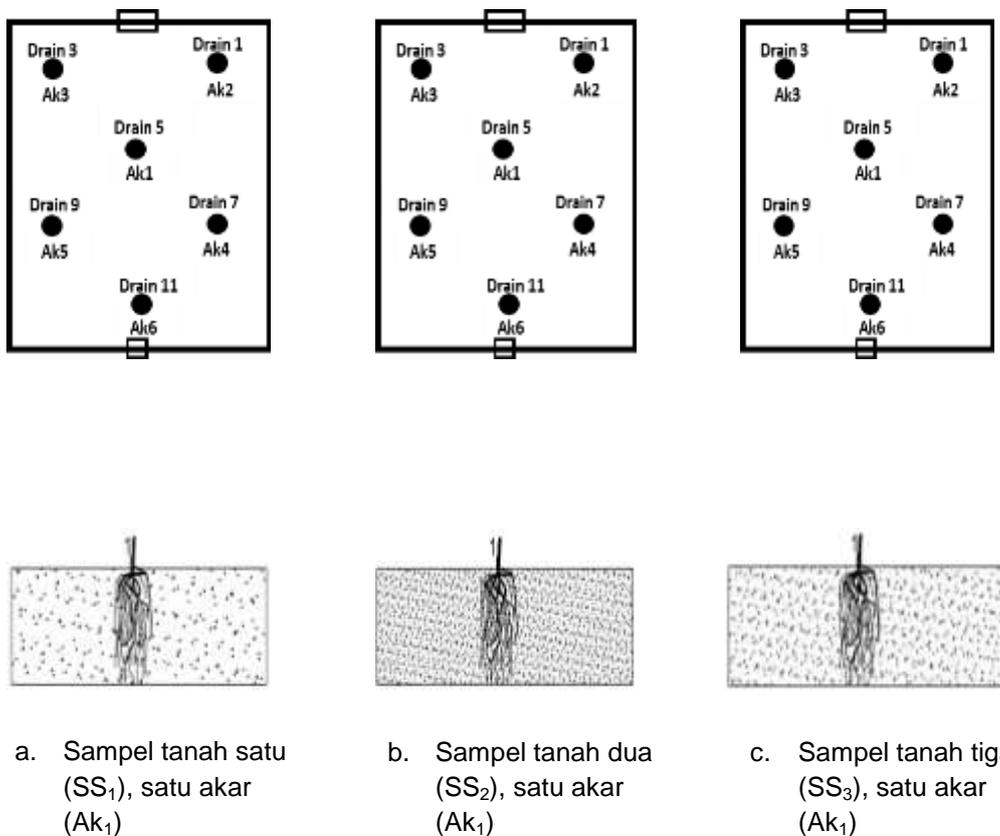
14. Pembahasan dan diskusi

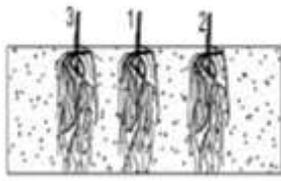
Pada Tabel 22 sampai dengan Tabel 27, menunjukkan bahwa untuk sampel tanah satu (SS₁) dengan koefisien permeabilitas, $kp_1 = 0,00384$ mm/det dimana dalam kasus penelitian ini, Sampel SS₁ tersebut memiliki gradasi yang paling kasar dibandingkan dengan sampel tanah dua (SS₂) dengan koefisien permeabilitas, $kp_2 = 0,0011$ mm/det dan sampel tanah tiga (SS₃) dengan koefisien permeabilitas, $kp_3 = 0,0016$ mm/det.

Hasil pengamatan memperlihatkan bahwa setelah dilakukan penambahan formasi akar pohon, maka prosentase kapasitas infiltrasi semakin meningkat. Ini menunjukkan fenomena logis bahwa semakin besar koefisien permeabilitas (semakin besar butiran tanahnya), maka celah-celah di antara butiran tanah semakin besar dan ditambah dengan

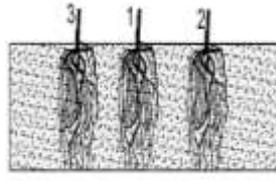
variasi formasi fungsi akar sebagai konduktor, sehingga prosentase volume infiltrasi semakin bertambah meningkat dan arah rambat infiltrasi menuju waktu akhir (t_e) bertambah cepat.

Sedangkan untuk kasus sampel tanah berbutir halus dengan koefisien permeabilitas yang kecil, maka fungsi pertambahan formasi akar mengisi celah-celah butiran tanah dan menjadi konduktor memberi efek yang signifikan terhadap prosentase penambahan volume infiltrasi dan arah rambat aliran infiltrasi menuju waktu akhir (t_e) lebih cepat, walaupun kapasitas infiltrasinya (f_c) lebih kecil dibandingkan dengan sampel tanah satu (SS_1). Fenomena kinerja akar pohon dalam meningkatkan kapasitas infiltrasi tersebut dilukiskan pada Gambar 99.

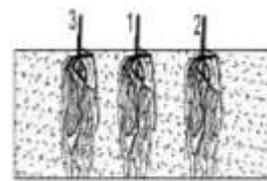




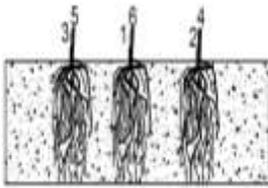
d. Sampel tanah satu (SS_1), tiga akar (Ak_3)



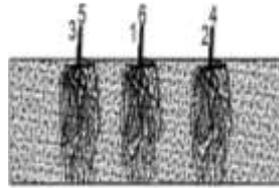
e. Sampel tanah dua (SS_2), tiga akar (Ak_3)



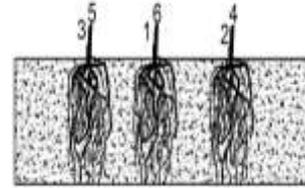
f. Sampel tanah tiga (SS_3), tiga akar (Ak_3)



g. Sampel tanah satu (SS_1), enam akar (Ak_6)



h. Sampel tanah dua (SS_2), enam akar (Ak_6)



i. Sampel tanah tiga (SS_3), enam akar (Ak_6)

Gambar 99. Ilustrasi peran formasi akar (Ak_1 , Ak_3 , dan Ak_6) dalam meningkatkan kapasitas infiltrasi (f_c) untuk Tiga Sampel Tanah (SS_1 , SS_2 , dan SS_3)

F. Kebaruan Penelitian

1. Rumus Horton-ARN Sebagai Kebaruan Penelitian

Dari penelitian tentang analisis penggunaan akar pohon sebagai media untuk meningkatkan kapasitas infiltrasi dengan asumsi bahwa infiltrasi yang terjadi dipengaruhi oleh koefisien permeabilitas tanah (k_p), intensitas curah hujan (I), kepadatan tanah (D), kerapatan akar pohon (Ak), dan waktu tercapainya infiltrasi konstan (t_c), dilakukan analisis Regresi Non Linier yang diperkenalkan oleh Rowlings dkk (1988).

Dari hasil analisis tersebut ditemukan bahwa faktor-faktor kp , I , D , Ak dan t jika dikalikan dengan konstantanya masing-masing berpengaruh dalam membentuk lengkung resesi, yang mana dalam penelitian ini disebut sebagai “Koefisien Akumulasi Bilangan Imbuhan” atau “*Coefisien for accumulative of recharge number*” disingkat C_{ARN} yang menggantikan koefisien “k” pada persamaan infiltrasi Metode Horton, sehingga menghasilkan pengembangan metode perhitungan laju dan kapasitas infiltrasi Metode Modifikasi Horton (*Horton Modified*) yang selanjutnya disebut Metode Horton-ARN. Dengan penambahan nilai koefisien C_{ARN} pada persamaan Horton menjadi Horton-ARN, maka nilai k tidak perlu lagi dilakukan transformasi persamaan kedalam bentuk logaritma ataupun logaritma natural, yang dalam istilah statistika hidrologi disebut pencocokan data (*data fitting*). Secara kronologis pengembangan metode Horton menjadi Horton-ARN ditampilkan sebagai berikut :

Untuk Metode Horton sebagaimana yang telah diuraikan secara lengkap pada persamaan (4) sampai dengan persamaan (15) dalam Bab II ditunjukkan dalam formula berikut:

$$f_t = f_c + (f_0 - f_c)e^{-k.t} \quad (28)$$

Nilai “-k” pada persamaan 28 tersebut digantikan dengan koefisien C_{ARN} , sehingga Metode Horton-ARN dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$f_t = f_c + (f_0 - f_c)e^{C_{ARN}.t} \quad (29)$$

dimana nilai C :

$$C_{ARN} = c_1kp + c_2I + c_3D + c_4Ak \quad (30)$$

dengan:

f_t = kapasitas infiltrasi pada saat t (mm/jam)

f_0 = kapasitas infiltrasi pada saat awal (mm/jam)

f_c = kapasitas infiltrasi konstan (mm/jam)

e = 2,71828

t = waktu

C_{ARN} = koefisien resesi untuk Metode Horton-ARN

c_1 = konstanta untuk koefisien permeabilitas = -1615,381

c_2 = konstanta untuk intensitas curah hujan = 0,0004299

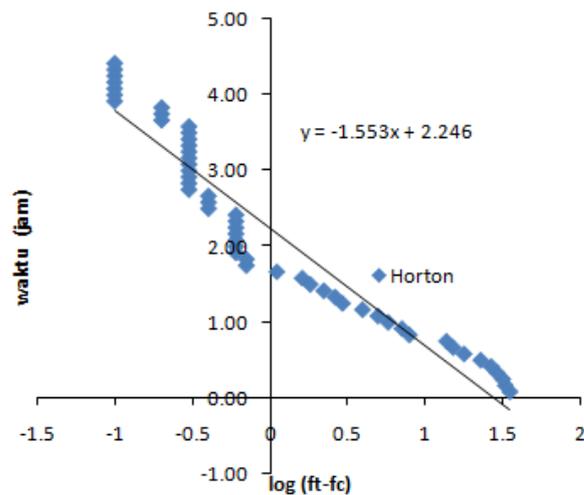
c_3 = konstanta untuk kepadatan = -0,016

c_4 = konstanta untuk formasi akar = -0,035

2. Unjuk Kerja Persamaan Horton-ARN

Untuk melihat unjuk kerja dari persamaan Horton-ARN maka dilakukan perbandingan antara data laju infiltrasi amatan, hasil perhitungan laju infiltrasi Metode Horton yang dihitung dengan menggunakan persamaan (28) dengan perhitungan nilai k menggunakan persamaan (15), kemudian dibandingkan pula dengan hasil perhitungan laju infiltrasi dengan Metode Horton-ARN dengan menggunakan persamaan (29).

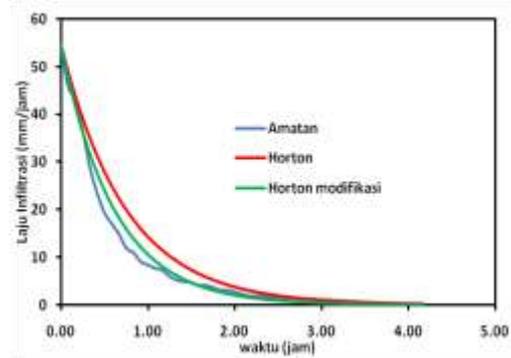
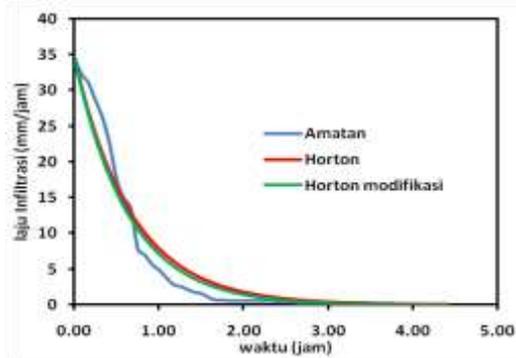
Sebagai contoh perhitungan diambil dari data formasi akar satu (Ak_1) intensitas curah hujan lima tahun (I_5) pada sampel tanah satu (SS_1). Untuk variasi formasi akar tiga (Ak_3) dan akar enam (Ak_6), intensitas curah hujan (I_{10} dan I_{25}) dan sampel tanah (SS_2 dan SS_3) dicantumkan pada lampiran 3.



Gambar 100. Penentuan nilai m untuk formasi akar satu (Ak_1) dengan intensitas I_5 pada sampel tanah satu (SS_1)

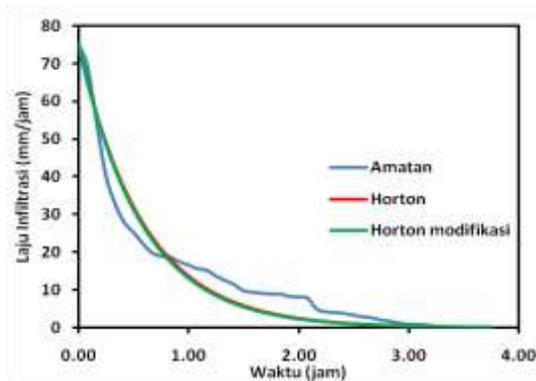
Dari gambar 100 didapatkan nilai $m = -1,553$ maka $k = 1,484$. Lalu nilai k dimasukkan ke dalam persamaan Metode Horton dan diperoleh nilai infiltrasi Horton.

Berikut ini diperlihatkan perbandingan nilai antara data amatan, Metode Horton dan Metode Horton-ARN yang disajikan dalam bentuk tabel sebagaimana terdapat pada lampiran 3, yang selanjutnya disajikan dalam grafik yang ditunjukkan pada Gambar 101 sampai 109.



a. Untuk formasi akar satu (Ak_1)

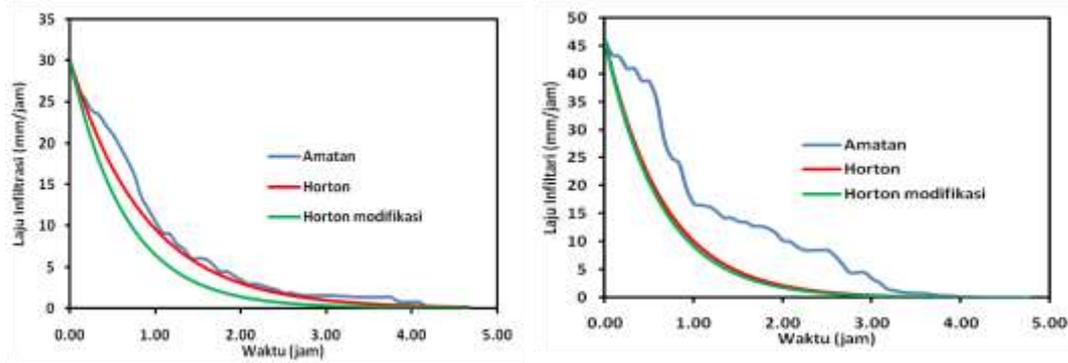
b. Untuk formasi akar tiga (Ak_3)



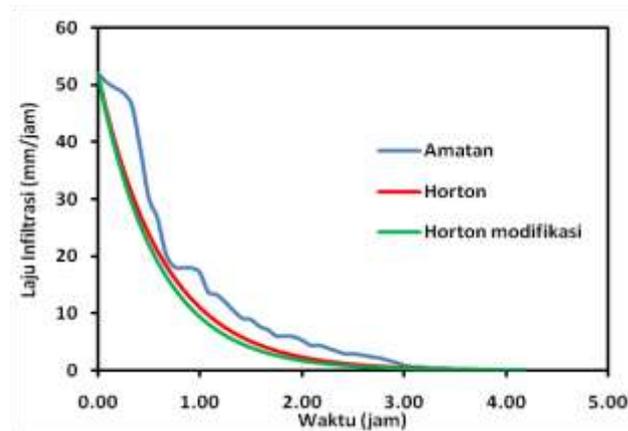
c. Untuk formasi akar enam (Ak_6)

Gambar 101. Perbandingan antara laju infiltrasi amatan, Metode Horton dan Metode Horton-ARN dengan tiga formasi akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk intensitas I_5 pada sampel tanah satu (SS_1)

Pada Gambar 101 masing-masing kurva menunjukkan bahwa untuk sampel tanah satu (SS_1) dengan $k_p = 0,00384$ mm/dt pola grafik antara amatan, Metode Horton dan Horton-ARN pada intensitas curah hujan lima tahun (I_5) dengan tiga formasi akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) memiliki kecenderungan (*trend*) yang hampir sama, dengan kata lain koefisien regresi Metode Horton-ARN berkesesuaian dengan data amatan maupun formula Metode Horton.



a. Untuk formasi akar satu (Ak_1) b. Untuk formasi akar tiga (Ak_3)

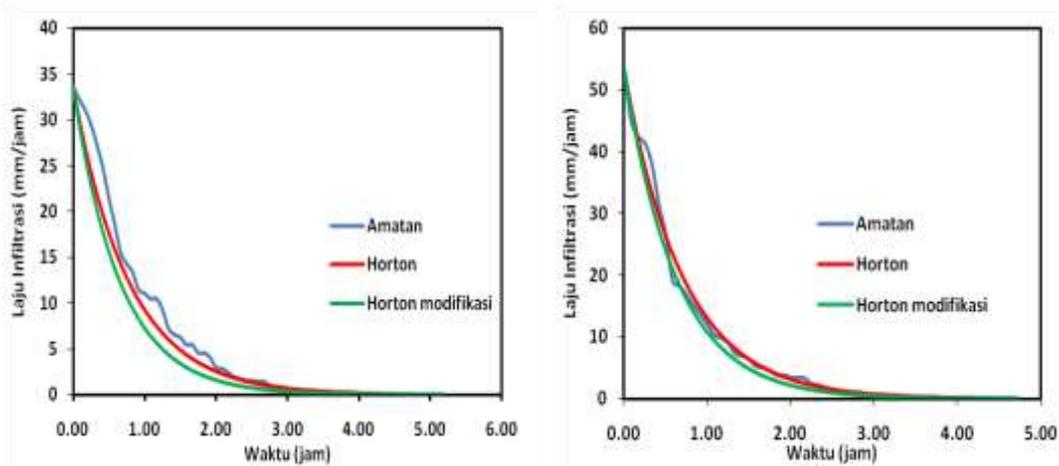


c. Untuk formasi akar enam (Ak_6)

Gambar 102. Perbandingan antara laju infiltrasi amatan, Metode Horton dan Metode Horton-ARN dengan tiga formasi akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk intensitas I_{10} pada sampel tanah satu (SS_1)

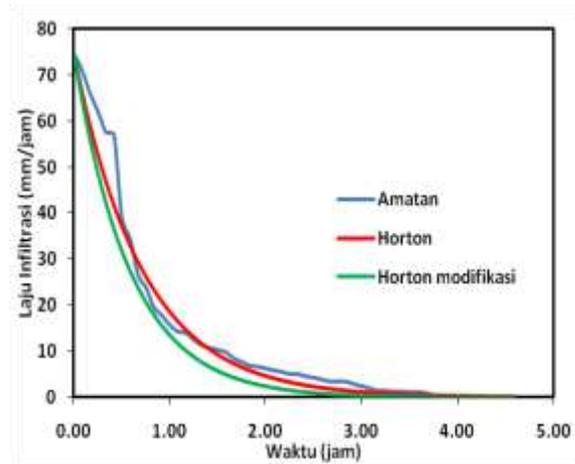
Pada Gambar 102 menunjukkan bahwa untuk sampel tanah satu (SS_1) dengan $k_p = 0,00384$ mm/dt pada kurva a dan b formasi akar satu dan enam (Ak_1 , dan Ak_6) pola grafik antara amatan, Metode Horton dan Horton-ARN pada intensitas curah hujan 10 tahun (I_{10}) memiliki kecenderungan (*trend*) yang hampir sama, dengan kata lain koefisien regresi Metode Horton-ARN berkesesuaian dengan data amatan maupun formula Metode Horton. Sedangkan pada kurva c formasi akar tiga (Ak_3)

trend amatan sedikit berbeda dengan Metode Horton dan Metode Horton-ARN.



a. Untuk formasi akar satu (Ak₁)

b. Untuk formasi akar tiga (Ak₃)

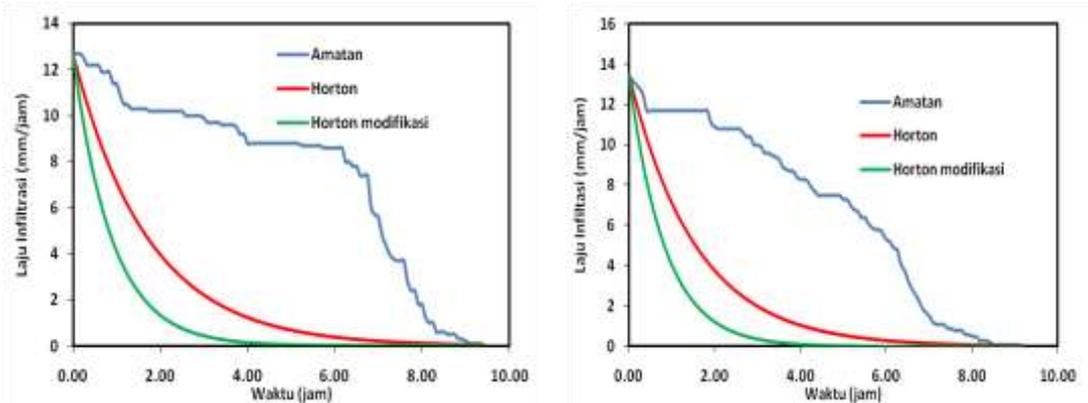


c. Untuk formasi akar enam (Ak₆)

Gambar 103. Perbandingan antara laju infiltrasi amatan, Metode Horton dan Metode Horton-ARN dengan tiga formasi akar (Ak₁, Ak₃ dan Ak₆) untuk intensitas I₂₅ pada sampel tanah satu (SS₁)

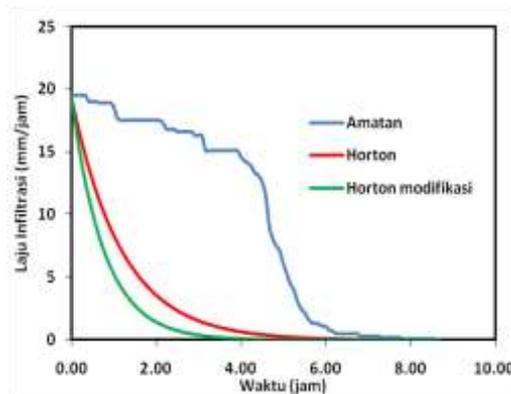
Pada Gambar 103 masing-masing kurva menunjukkan bahwa untuk sampel tanah satu (SS₁) dengan $k_p = 0,00384$ mm/dt pola grafik antara amatan, Metode Horton dan Horton-ARN pada intensitas curah hujan 25 tahun (I₂₅) dengan tiga formasi akar (Ak₁, Ak₃ dan Ak₆) memiliki

kecenderungan (*trend*) yang hampir sama, dengan kata lain koefisien regresi Metode Horton-ARN berkesesuaian dengan data amatan maupun formula Metode Horton.



a. Untuk formasi akar satu (Ak_1)

b. Untuk formasi akar tiga (Ak_3)

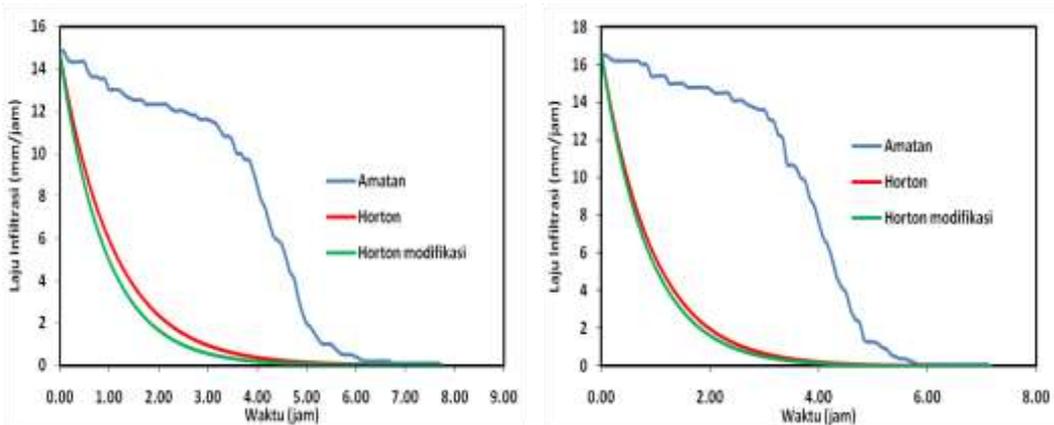


c. Untuk formasi akar enam (Ak_6)

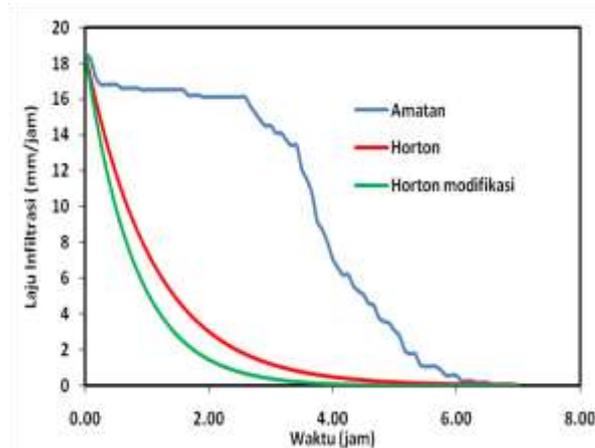
Gambar 104. Perbandingan antara laju infiltrasi amatan, Metode Horton dan Metode Horton-ARN dengan tiga formasi akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk intensitas I_5 pada sampel tanah dua (SS_2)

Pada Gambar 104 masing-masing kurva untuk sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas $k_p = 0,0011$ mm/det pada intensitas curah hujan lima tahun (I_5) menunjukkan bahwa kurva amatan memiliki

trend yang berbeda dengan Metode Horton dan Metode Horton-ARN walaupun memiliki f_o dan f_e yang sama. Ini menunjukkan bahwa untuk tanah dengan koefisien permeabilitas (k_p) yang kecil memiliki kecenderungan *trend* rambatan laju infiltrasi yang berbeda.



a. Untuk formasi akar satu (Ak_1) b. Untuk formasi akar tiga (Ak_3)

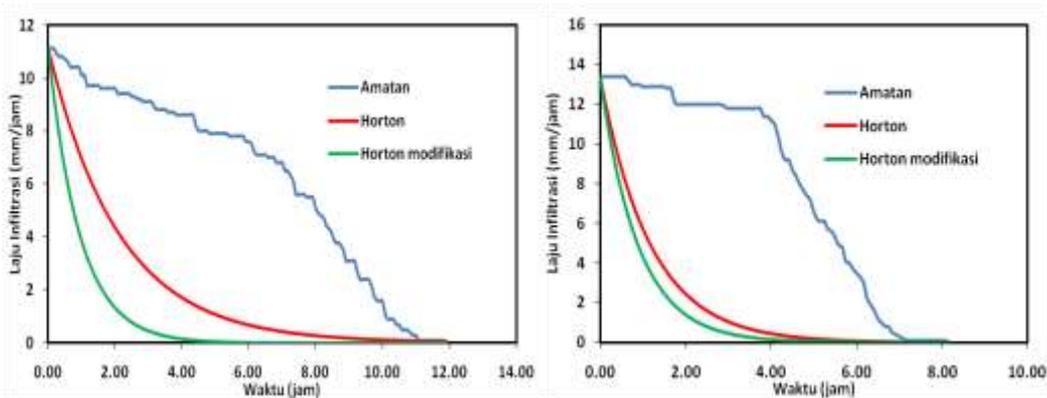


c. Untuk formasi akar enam (Ak_6)

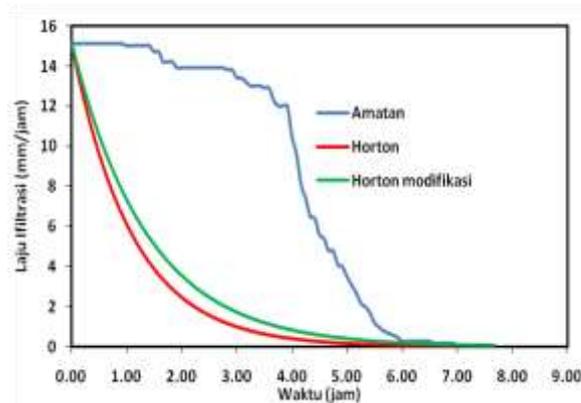
Gambar 105. Perbandingan antara laju infiltrasi amatan, Metode Horton dan Metode Horton-ARN dengan tiga formasi akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk intensitas I_{10} pada sampel tanah dua (SS_2)

Pada Gambar 105 masing-masing kurva untuk sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas $k_p = 0,0011$ mm/det pada intensitas

curah hujan 10 tahun (I_{10}) menunjukkan bahwa kurva amatan memiliki *trend* yang berbeda dengan Metode Horton dan Metode Horton-ARN walaupun memiliki f_o dan f_e yang sama. Ini menunjukkan bahwa untuk tanah dengan koefisien permeabilitas (k_p) yang kecil memiliki kecenderungan *trend* rambatan laju infiltrasi yang berbeda.



a. Untuk formasi akar satu (Ak_1) b. Untuk formasi akar tiga (Ak_3)

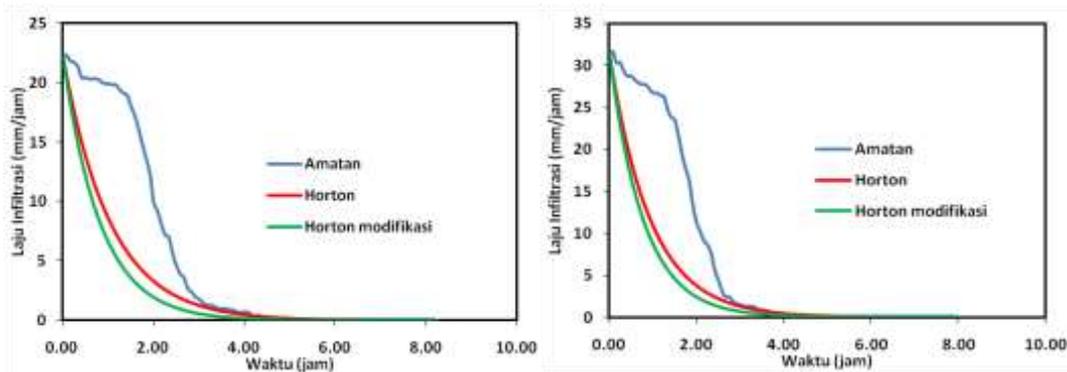


c. Untuk formasi akar enam (Ak_6)

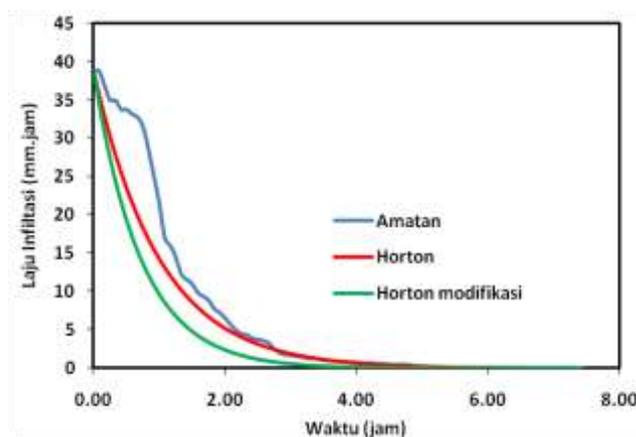
Gambar 106. Perbandingan antara laju infiltrasi amatan, Metode Horton dan Metode Horton-ARN dengan tiga formasi akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk intensitas I_{25} pada sampel tanah dua (SS_2)

Pada Gambar 106 masing-masing kurva untuk sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas $k_p = 0,0011$ mm/det pada intensitas curah hujan 25 tahun (I_{25}) menunjukkan bahwa kurva amatan memiliki

trend yang berbeda dengan Metode Horton dan Metode Horton-ARN walaupun memiliki f_0 dan f_e yang sama. Ini menunjukkan bahwa untuk tanah dengan koefisien permeabilitas (k_p) yang kecil memiliki kecenderungan *trend* rambatan laju infiltrasi yang berbeda.



a. Untuk formasi akar satu (Ak_1) b. Untuk formasi akar tiga (Ak_3)

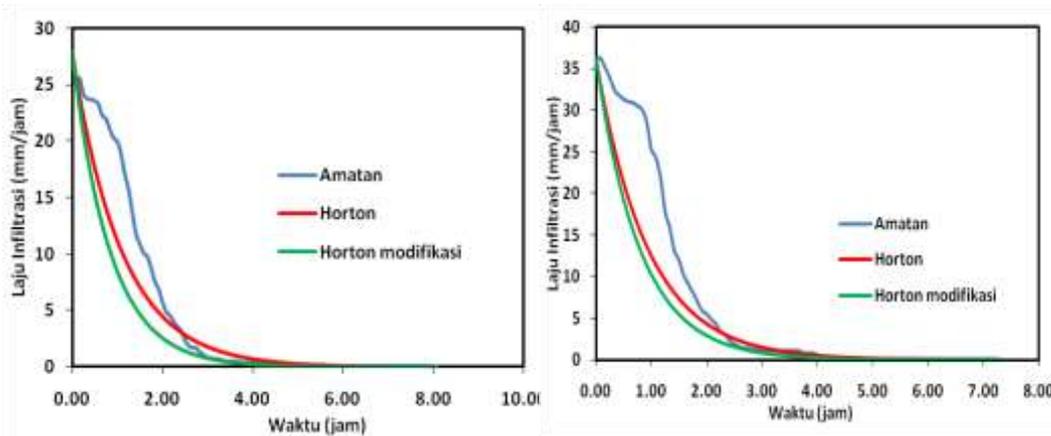


c. Untuk formasi akar enam (Ak_6)

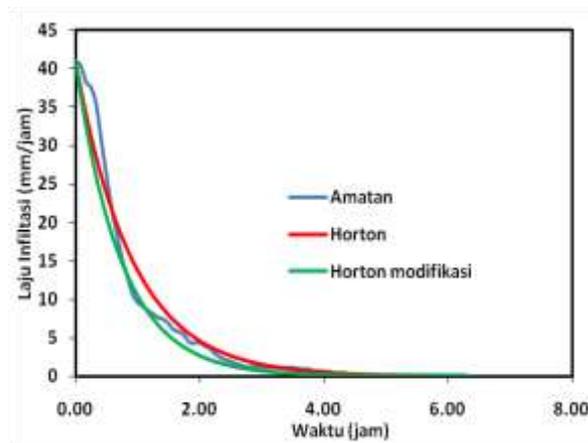
Gambar 107. Perbandingan antara laju infiltrasi amatan, Metode Horton dan Metode Horton-ARN dengan tiga formasi akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk intensitas I_5 pada sampel tanah tiga (SS_3)

Pada Gambar 107 masing-masing kurva menunjukkan bahwa untuk sampel tanah tiga (SS_3) dengan $k_p = 0,0016$ mm/dt pola grafik Metode Horton dan Horton-ARN pada intensitas curah hujan lima tahun (I_5) dengan tiga formasi akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) memiliki kecenderungan

(*trend*) yang hampir sama, sedangkan pada pola grafik amatan sedikit berbeda pada saat laju infiltrasi awal untuk kurva dengan kata lain koefisien regresi Metode Horton-ARN berkesesuaian dengan data formula Metode Horton sedangkan pada amatan dipengaruhi oleh koefisien permeabilitas yang kecil.



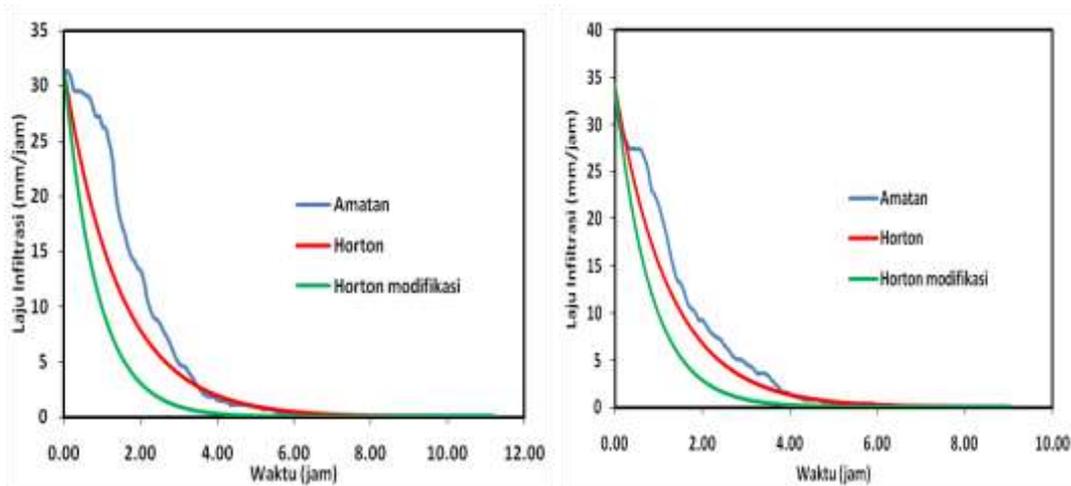
a. Untuk formasi akar satu (A_{k_1}) b. Untuk formasi akar tiga (A_{k_3})



c. Untuk formasi akar enam (A_{k_6})

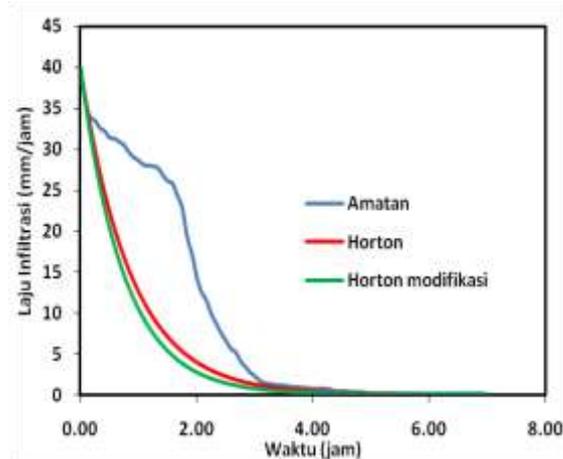
Gambar 108. Perbandingan antara laju infiltrasi amatan, Metode Horton dan Metode Horton-ARN dengan tiga formasi akar (A_{k_1} , A_{k_3} dan A_{k_6}) untuk intensitas I_{10} pada sampel tanah tiga (SS_3)

Pada Gambar 108 masing-masing kurva menunjukkan bahwa untuk sampel tanah tiga (SS_3) dengan $k_p = 0,0016 \text{ mm/dt}$ pola grafik Metode Horton dan Horton-ARN pada intensitas curah hujan 10 tahun (I_{10}) dengan tiga formasi akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) memiliki kecenderungan (*trend*) yang hampir sama, sedangkan pada pola grafik amatan sedikit berbeda pada saat laju infiltrasi awal dengan kata lain koefisien regresi Metode Horton-ARN berkesesuaian dengan data formula Metode Horton sedangkan pada amatan dipengaruhi oleh koefisien permeabilitas yang kecil.



a. Untuk formasi akar satu (Ak_1)

b. Untuk formasi akar tiga (Ak_3)



c. Untuk formasi akar enam (Ak_6)

Gambar 109. Perbandingan antara laju infiltrasi amatan, Metode Horton dan Metode Horton-ARN dengan tiga formasi akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) untuk intensitas I_{25} pada sampel tanah tiga (SS_3)

Pada Gambar 109 masing-masing kurva menunjukkan bahwa untuk sampel tanah tiga (SS_3) dengan $k_p = 0,0016$ mm/dt pola grafik antara amatan, Metode Horton dan Horton-ARN pada intensitas curah hujan 25 tahun (I_{25}) dengan tiga formasi akar (Ak_1 , Ak_3 dan Ak_6) memiliki kecenderungan (*trend*) yang hampir sama, dengan kata lain koefisien regresi Metode Horton-ARN berkesesuaian dengan data amatan maupun formula Metode Horton.

3. Uji Validasi Model Horton-ARN

Uji validasi model digunakan untuk menentukan ketepatan persamaan untuk menduga nilai sebenarnya. Kriteria yang dipertimbangkan adalah ketepatan dari suatu penduga dalam menduga nilai yang sebenarnya secara berturut-turut dinyatakan oleh sistematika,

besar dan penyebab dari simpangan tersebut. Semakin kecil simpangan maka penduga tersebut akan semakin tinggi ketepatannya. Semakin sempit sebaran simpangan maka akan semakin tinggi ketelitiannya dan semakin kecil kesalahan sistematiknya, maka penduga tersebut semakin tidak bias. Kriteria yang digunakan dalam melakukan validasi dalam penelitian ini adalah besarnya bias rata-rata absolute, *mean squared error prediction* (MSEP) dan indeks galat (EI) dari persamaan Horton dan persamaan Horton ARN yang telah dibuat. Semakin rendah atau mendekati nol nilai ketiganya semakin baik penduga model yang digunakan. Rumus bias rata-rata dan MSEP (Rawlings, et al. 1988) adalah sebagai berikut:

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)}{n} \quad (29)$$

$$MSEP = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n} \quad (30)$$

$$EI = \sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i| \quad (31)$$

dimana:

Y_i = Nilai pengamatan ke i

\hat{Y}_i = Nilai dugaan ke i

N = banyaknya pengamatan

Selanjutnya, kelayakan dari suatu model dapat dilihat dari apakah penduga model yang diperoleh berbias atau tidak, dengan mengujinya menggunakan uji-t. Disamping itu, grafik dari model yang diperoleh harus juga diperiksa untuk mengetahui kesesuaian dari kecenderungan perilaku peubah respon (peubah tak bebas) dengan model.

Besarnya bias rata-rata absolute, *mean squared error prediction* (MSEP) dan indeks galat (EI) dari persamaan Horton dan persamaan Horton-ARN yang telah dibuat dapat dilihat pada Tabel 28.

Berdasarkan Tabel tersebut menunjukkan bahwa beberapa kriteria menunjukkan nilai yang mendekati nol, sehingga dapat dikatakan bahwa persamaan Horton dan Persamaan Horton-ARN baik digunakan sebagai persamaan model penduga laju infiltrasi. Hasil Uji Bias Model Penduga menunjukkan bahwa beberapa persamaan tersebut merupakan penduga tidak bias. Meskipun dalam beberapa kasus dapat menjadi bias namun berdasarkan nilai besarnya bias rata-rata absolute yang pada umumnya mendekati nol maka persamaan Horton dan Persamaan Horton-ARN masih baik digunakan sebagai model penduga laju infiltrasi.

4. Pembahasan

Secara umum terlihat bahwa ada dua kondisi yang dapat digambarkan melalui grafik perbandingan antara amatan, metode Horton dan Metode Horton-ARN, yakni: Pada sampel tanah satu (SS_1) dengan koefisien permeabilitas 0,00384 mm/det, baik pada intensitas curah hujan I_5 maupun pada I_{10} dan I_{25} terjadi fenomena dimana ketiga kurva hampir berimpit. Demikian untuk sampel tanah tiga (SS_3) dengan koefisien permeabilitas 0,00160 mm/det juga dengan kurva yang hampir berimpit.

Tabel 28. Validasi Model Persamaan Horton dan Persamaan Horton-ARN

No.	Sampel	Bias		MSEP		EI	
		Horton	Modifikasi Horton	Horton	Modifikasi Horton	Horton	Modifikasi Horton
1	S1I5D1AK1	-0.42	-0.87	3.52	4.54	3.52	4.54
2	S1I5D1AK3	-2.07	-2.48	11.78	15.02	11.78	15.02
3	S1I5D1AK6	1.05	-0.15	16.31	18.27	16.31	18.27
4	S1I10D1AK1	0.89	0.47	1.95	1.14	1.95	1.14
5	S1I10D1AK3	5.38	4.78	50.63	40.36	50.63	40.36
6	S1I10D1AK6	2.98	2.72	20.23	17.79	20.23	17.79
7	S1I25D1AK1	0.92	0.86	2.73	2.54	2.73	2.54
8	S1I25D1AK3	-0.12	-0.16	1.44	1.48	1.44	1.48
9	S1I25D1AK6	1.26	0.79	11.04	10.11	11.04	10.11
10	S2I5D1AK1	5.22	3.72	35.68	19.97	35.68	19.97
11	S2I5D1AK3	4.44	3.67	28.52	20.26	28.52	20.26
12	S2I5D1AK6	6.89	6.40	83.10	72.77	83.10	72.77
13	S2I10D1AK1	5.02	4.59	42.54	36.15	42.54	36.15
14	S2I10D1AK3	6.22	5.70	65.07	55.62	65.07	55.62
15	S2I10D1AK6	6.62	5.82	70.43	56.08	70.43	56.08
16	S2I25D1AK1	4.26	3.26	24.20	14.91	24.20	14.91
17	S2I25D1AK3	5.99	5.14	52.14	39.34	52.14	39.34
18	S2I25D1AK6	6.13	5.60	62.00	52.65	62.00	52.65
19	S3I5D1AK1	2.56	2.28	23.79	20.55	23.79	20.55
20	S3I5D1AK3	3.39	2.93	43.86	36.27	43.86	36.27
21	S3I5D1AK6	1.52	1.34	12.34	11.10	12.34	11.10
22	S3I10D1AK1	1.07	0.73	7.50	5.87	7.50	5.87
23	S3I10D1AK3	2.04	1.72	21.41	18.41	21.41	18.41
24	S3I10D1AK6	-0.19	-0.37	3.14	3.43	3.14	3.43
25	S3I25D1AK1	1.46	1.05	10.94	8.37	10.94	8.37
26	S3I25D1AK3	1.04	0.86	4.23	3.43	4.23	3.43
27	S3I25D1AK6	4.39	4.16	61.03	56.29	61.03	56.29

Berbeda halnya dengan sampel tanah dua (SS_2) dengan koefisien permeabilitas 0,0011 mm/det nampak perbedaan yang cukup besar dimana trend data amatan menunjukkan gabungan dua kurva, yakni kurva berbentuk cembung (hipérbola) dan kurva berbentuk cekung (parábola) dan di antara keduanya ada titik impleksi pada waktu tertentu, sehingga untuk kasus penelitian ini dapat dikatakan bahwa Metode Horton dan Horton-ARN baik diterapkan untuk tanah dengan koefisien permeabilitas antara 0,0016 mm/det hingga 0,00384 mm/det, dan sebaliknya tidak cukup baik untuk tanah dengan koefisien permeabilitas 0,0011 mm/det ke bawah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Menjawab tujuan yang telah dipaparkan pada bagian awal penulisan ini, berdasarkan pembahasan hasil penelitian, berikut ini dikemukakan beberapa hal yang menjadi kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil penelitian terhadap sampel tanah tanpa akar tumbuhan, terlihat beberapa fenomena terkait dengan laju dan kapasitas infiltrasi bahwa;
a) Kapasitas infiltrasi (f_c) pada tanah asli dipengaruhi oleh kepadatan (D) dimana semakin tinggi nilai kepadatan tanah (D), maka semakin kecil kapasitas infiltrasi (f_c); b) Kapasitas infiltrasi (f_c) pada tanah asli juga dipengaruhi oleh permeabilitas tanah, dimana semakin besar angka permeabilitas tanah (k_p), maka semakin besar pula kapasitas infiltrasi (f_c).
2. Hasil analisis kinerja akar pohon terhadap peningkatan kapasitas infiltrasi juga menunjukkan fenomena sebagaimana pada kesimpulan pertama. Hal ini terlihat pada sampel tanah SS_1 , SS_2 , dan SS_3 terjadi peningkatan nilai kapasitas infiltrasi f_c dari Ak_0 ke Ak_1 , masing-masing berturut-turut sebesar 219.44 %, 103.2 %, dan 214.08 %. Fenomena tersebut juga terjadi pada Intensitas hujan I_{10} dan I_{25} pada seluruh sampel tanah dengan berbagai variasi kepadatan.
3. Tentang pengaruh kerapatan akar pohon terhadap perubahan laju dan kapasitas infiltrasi f_c dari hasil penelitian menunjukkan bahwa hal ini terlihat pada sampel tanah SS_1 , SS_2 dan SS_3 terjadi pertambahan nilai

kapasitas infiltrasi f_c dari A_{k_0} ke A_{k_1} , A_{k_3} dan A_{k_6} masing-masing untuk SS1 sebesar 219.44 %, 407.41 %, dan 596.30 %, SS₂ masing-masing sebesar 103.2 %, 116 %, dan 212 %. dan SS₃ masing-masing sebesar 214,08 %, 345,07 %, dan 446.48 %. Fenomena tersebut juga terjadi pada Intensitas hujan I_{10} dan I_{25} pada tiga sampel tanah dengan berbagai variasi kepadatan.

4. Dari analisis statistik metode non linear didapatkan suatu koefisien dari beberapa konstanta yang terkait dengan variabel waktu t , koefisien permeabilitas tanah kp , intensitas curah hujan I , kepadatan tanah D , dan formasi akar A_k , yang selanjutnya disebut *Coefficient for Accumulative of recharge number* disingkat C_{ARN} , yang selanjutnya disubstitusikan ke dalam persamaan Horton sehingga ditemukan rumus modifikasi terhadap yang disebut Horton-ARN untuk menghitung laju infiltrasi (f_t) dengan persamaan sebagai berikut:

$$f_t = f_c + (f_0 - f_c)e^{C_{ARN}.t}$$

dimana

$$C_{ARN} = c_1kp + c_2I + c_3D - c_4Ak$$

B. SARAN-SARAN

Dari analisis dan pembahasan hasil penelitian ini, ditemukan beberapa hal yang memerlukan penelitian lanjutan yang sekaligus menjadi *lack of study* dalam penelitian perilaku infiltrasi, antara lain :

1. Perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh intensitas curah hujan terhadap pemampatan dan perubahan kepadatan tanah, dengan cara mengekang (kontrol) beberapa variabel, antara lain; waktu hujan

(*rainfall time*), waktu selang hujan (*rainfall interval*), frekuensi hujan, dan parameter-parameter tanah (*sample*).

2. Perlu dilakukan penelitian terhadap pengaruh penyerapan akar hidup (*root absorbtion*) terhadap laju infiltrasi (f) dan kapasitas infiltrasi (f_c), dengan cara; disamping mengekang variabel-variabel waktu hujan (*rainfall time*), waktu selang hujan (*rainfall interval*), frekuensi hujan, dan parameter-parameter tanah (*sample*), juga harus dikontrol beberapa variabel, antara lain; kerapatan akar tanaman hidup, umur tanaman, dan kerapatan daun tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Altaee, Ameir, Bengt H. Fellenius. 1994. Physical Modeling in Sand. *Can Gentec J.* 31 : 420-431
- Arfan, H. 2011. *Pengujian Karakteristik Resapan dengan Variasi Intensitas Curah Hujan, Tingkat Kepadatan, dan Gradasi Tanah Daerah Pesisir*. Prosiding PIT XXVII HATHI, Ambon
- Azis, Akhmad, *Studi Penggunaan Kolom Pasir Pada Waduk Resapan Dalam Mengatasi Permasalahan Imbuhan Air Tanah*, PASCASARJANA UNHAS, Disertasi 2014
- Bartens, J., Day, S. D., Harris, J. R., Wynn, T. M., and J. E. Dove. 2009. Transpiration and root development of urban trees in structural soil stormwater reservoirs. *Environmental Management.* 44:646–657.
- Blainey, Joan B., Jon D. Pelletier. 2008. Infiltration on Alluvial Fans in Arid Environments: Influence of Fan Morphology. *Journal of Geophysical Research, Vol. 113:* 1-18
- Bougadis, John, Kaz Adamowski. 2006. Scaling Model of A Rainfall Intensity-Duration-Frequency Relationship. *Hydrol Process,* 20: 3747-3757
- Bouma, J., Belmans, C., Dekker, L.W., 1982. *Water infiltration and redistribution in a silt loam subsoil with vertical worm channels.* Soil Sci. Soc. Am. J. 46 (5), 917–921.
- Bouwer Herman. 2002. Artificial recharge of groundwater : Hydrogeology and Engineering. *Hydrogeology Journal* 10:121-142.
- Bouwer, L. M., P. Bubeck, A. J. Wagtendonk, J. C. J. H. Aerts. 2009. Inundation Scenarios for Flood Damage Evaluation in Polder Areas. *Natural Hazards and Earth System Sciences,* 9 : 1995-2007
- Braga, Andrea, Michael Horst, Robert G. Traver. Temperatur Effect on The Infiltration Rate Throught an Infiltration Basin BMP. *American Society of Civil Engineering* : 1-27
- Brata K. R. 1995. *Penggunaan Cacing Tanah Untuk Peningkatan Efektivitas Mulsa Vertikal Sebagai Tindakan Konservasi Tanah dan Air Terpadu pada Pertanian Lahan Kering di Latosol Darmaga*. Laporan Hasil Penelitian, IPB Bogor.
- Buttle, J. M., and D. A. House. 1997. Spatial Variability of Saturated Hydraulic Conductivity in Hallow Macroporous Soils in a Forested Basin. *Journal of Hydrology* 203:127 – 142
- Chay Asdak, *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Gadjah Mada University Press, Edisi keempat 2007

- Chandler Kathy R., and Chappell Nick A. 2008. Influence of individual oak (*Quercus robur*) trees on saturated hydraulic conductivity. *Forest Ecology and Management*. Volume 256, Issue 5, 20 August 2008, Pages 1222–1229.
- Chen, Wei Bo, Wen Cheng Liu. 2014. Modeling Flood Inundation By River Flow and Storm Surges Over a River Basin. *Water*, 6 : 3182-3199
- Craig, J. R., G. Liu, E. D. Soulis. 2010. Runoff- Infiltration Partitioning Using an Upscaled Green-Ampt Solution. *Hydrol Process*.
- De Vries, J., Chow, T.L., 1978. *Hydrologic behavior of a forested mountain soil in coastal British Columbia*. *Water Resour. Res.* 14 (5), 935–942.
- Djudi. 2006. *Kajian Waduk Resapan Tambakboyo Kecamatan Ngemplak Kabupaten Sleman Propinsi DI Yogyakarta*. Tesis Tidak Diterbitkan. ITB, Bandung
- Dogwiler, Toby, C. M. Wicks, E. Jensen. 2007. An Assessment of The Applicability of The Heat Pulse Method Toward The Determination of Infiltration Rates in Karst Losing-Stream Reaches. *Journal of Cave and Karst Studies*, v. 69 No. 2 : 237-242
- Dunne Thomas, Zhang Weihua, and Brian F. Aubry. 1991. *Effects of Rainfall, Vegetation, and Microtopography on Infiltration and Runoff*. *Water Resources Research*, Vo.. 27. No. 9, Pages 2271-2285, September 1991.
- Edwards, W.M., Norton, L.D., Redmond, C.E., 1988. *Characterizing macropores that affect infiltration into nontilled soil*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52 (2), 483–487.
- Edwin F.G.A., Carlos A.R.J., Manuel A.B.B. 2011. *Influence of Rainfall Intensity on Infiltration and Deformation of Undisturbed Soil Slopes*. *Dyna*, year 78, Nro. 170, pp. 116-124. Medellin, December, 2011. ISSN 0012-7353. publication at: <https://www.researchgate.net/publication/260770186>.
- Edy Sriyono, Debit Aliran Air Tanah Melalui Pipa Berpori, *JURNAL ILMIAH SEMESTA TEKNIKA*, Vol 10, No.1, 2007 ; 21 -30
- Eliasson Sonja & Larsson Martin. 2006. *The Influence of Land-Use Change, Root Abundance and Macropores on Saturated Infiltration Rate (A Field Study on Western Java, Indonesia)*. Report of Minor Field Studies (MFS) Scholarship Programme, by the Swedish International Development Cooperation Agency (SIDA).

- Foster, J., Lowe, A., and S. Winkelman. 2011. The value of green infrastructure for urban climate adaptation. The Center for Clean Air Policy. www.ccap.org.
- Gershunov, Alexander, Joel Michaelsen. 1996. Climatic-scale Space-time Variability of Tropical Precipitation. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 101, No. D21 : 26,297-26,307
- Germann, P., Helbling, A., Vadilonga, T., 2007. *Rivulet approach to rates of preferential infiltration*. *Vadose Zone J.* 6 (2), 207–220.
- Gill, Thomas W., Clifford A. Pugh. 2009. Sediment Transport Similitude for Scaled Physical Hydraulic Modeling. *33rd IAHR Congress*.
- Gonzalez-Sosa, E., I. Braud, J. Dehotin, L. Lassabatère, R. Angulo-Jaramillo, M. Lagouy, F. Branger, C. Jacqueminet, S. Kermadi and K. Michel. 2010. Impact of land use on the hydraulic properties of the topsoil in a small French catchment *Hydrological Processes*. 24(17): 2382–2399.
- Gregory, J. H., M. D. Dukes, G. L. Miller. 2006. Effect of Urban Soil Compaction on Infiltration Rate. *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol. 61 No. 3 : 117-124
- Gyami Shrestha, Peter. D. Stahl and Lachlan Ingram. 2016. *Influence of Reclamation Management Practices on Soil Bulk Density and Infiltration Rates on Surface Coal Mine Lands in Wyoming*. Uploaded by Lachlan J. Ingram on 02 June 2016. Publication at: <https://www.researchgate.net/publication/237487407>.
- Hadisusanto, N. 2011. *Aplikasi Hidrologi*. Jogja Mediautama. Yogyakarta.
- Haghighi, F., M. Gorji, M. Shofara, F. Sarmadian, M.H. Mohamadi. 2010. Evaluation of Some Infiltration Models and Hydraulic Parameters. *Spanish Journal of Agricultura Research*, 8: 210-217
- Haile, Alemseget Tamiru, Koen Kurters, Negash Wagesho. 2013. Loss and Damage from in The Gambela Region, Ethiopia. *Int. J. Global Warming*, Vol. 5, No. 4: 483-497
- Hardiyatmo, H.C. 2012. *Mekanika Tanah 1*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Hart Ted David. 2017. *Root-enhanced Infiltration in Stormwater Bioretention Facilities in Portland, Oregon*. A dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in Environmental Sciences and Resources of Portland State University
- Haryanto, Tri. 2012. *Investigasi Nilai Permeabilitas Tanah Berdasarkan Nilai Hasil CPTU*. Prosiding Hasil Penelitian Takultas Teknik Uhas, Vol. 6, Makassar

- Hatt, Belinda E. Tim D. Fletcher, Ana Deletic. 2009. Hydrologic and pollutant removal performance of stormwater biofiltration systems at the field scale. *Journal of Hydrology*. 365 (3–4):310–321.
- Heller, Valentin, Michael Pfister, Hubert Chanson. 2012. Scale effect in Physical Hydraulic Engineering Models. *Journal of Hydraulic Research* Vol. 50, No. 2 : 244-246
- Hernandez, Jorge Rodriguez, Daniel Castro Fresno, Andreas H. Fernandez Barrera, Angel Vega Zamanillo. 2011. Characterization of the Infiltration Capacity of Permeable Pavements with Porous Asphalt Surface Using the CF Infiltrometer. *Journal of Hydrologic Engineering*: 1-21
- Hillel, D., 1998. *Environmental Soil Physics*. Academic Press, New York.
- Hodkinson, 2007. Groundwater Mixing In A Sand-Island Freshwater Lens ; Density-Dependent Flow And Tratisgraphic Controls, **AUSTRALIAN JOURNAL OF EARTH SCIENCES** 54 (927-946)
- Holden, J., T. P. Burt, N. J. Cox. 2001. Macroporocity and Infiltration in Blanket Peat: The Implicatioan of Tension Disc Infiltrometer Measurements. *Hydrol Process*, 15 : 289-303
- Hsu, Shaohua Marko, Chuen Fa Ni, Pi Fang Hung. 2002. Assessment of Three Infiltration Formulas Based on Model Fitting on Richards Equation. *Journal of Hydrologic Engineering*, September/October : 373-379
- Mae, I. J. 2013. *Data BPNB Sulawesi Selatan Adalah Daerah Paling Potensi Banjir*. (online), (<http://www.kabarkami.com>, diakses 3 Januari 2013)
- Imbe, M. 2013. *Comprehensive Urban River Basin Management in Japan*. Regional Workshop on Climate Change and Urban Flood Management. Daegu, Republic of Korea, March 19-20 2013.
- Iverson, Richard M. 2000. Landslide Triggering by Rain Infiltration. *Water Resource Research*, Vol 36 No. 7 : 1887-1910
- Jeneau, J. L., J. P. Bricquet, o. Planchon, C. Valentin. 2003. Soil Crusting and Infiltration on Step Slpes in Northern Thailand. *European Journal of Soil Science*, 54 : 543-553
- Jia Guan-Wei, Zhan Tony L.T., Chen Yun-Min, Fredlund D.G. 2009. *Influence Of Rainfall Pattern On The Infiltration Into Landfill Earthen Final Cover*. Prociding. of International Symposium on Geoenvironmental Eng., ISGE2009. September 8-10, 2009, Hangzhou, China.

- Jing Zhang, Tingwu Lei, Liqin Quc, Ping Chen, Xiaofeng Gao, Chao Chen, Lili Yuan, Manliang Zhang, Guangxu Su. 2017. Method to measure soil matrix infiltration in forest soil. *Journal of Hydrology* 552 (2017) 241 – 248.
- John Diamond and Thomas Shanley, *Infiltration rate assesment of some major soils* , Irish Geography, volume 36(1), 2003, 32-36
- Kao, Cindy S., James R. Hunt. 2001. Experimental Validation and Applications of A Fluid Infiltration model. *Journal of Environmental Engineering*, February: 162-169
- Keith Beven, 2004. *Robert E. Horton's perceptual model of Infiltration Processes*, Hydrological Processes, *Hydrol Process*, 18, 3447-3460, While InterScience (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/hyp.5740 diakses 15 Maret 2013.
- Kompasiana. 2013, Makassar Menjadi Kota Banjir. (Online), (<http://metro.kompasiana.com>, diakses 3 Januari 2013).
- Konkol, Jakub. 2014. Derivation of the Scaling Laws Used in Geotechnical Centrifuge Modelling-Application of Dimensional Analysis and Buckingham II Theorem. *Technical Sciences* 17 (1): 31-44
- Kusnaedi. 2011. *Sumur Resapan untuk Pemukiman dan Perkotaan*. Swadaya. Jakarta
- Lang, T. E. and J. D. Dent. 1980. Scale Modelling of Snow – Avalanche Impact on Structures. *Journal of Glaciology*, Vol. 26, No. 94 : 189-196
- Lange, B., P. Luscher, P.F. Germann. 2009. Significance of Tree Root For Preferential Infiltration In Stagnic Soil. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13, 1809-1821
- Langhaar Henry Louis.1980. *Dimensional Analysis And Theory Of Models*. R. E. Krieger Publishing Company.
- Legout, A., Legout, C., Nys, C., Dambrine, E., 2009. *Preferential flow and slow convective chloride transport through the soil of a forested landscape (Fougères, France)*. *Geoderma* 151 (3), 179–190.
- Leung A.K., C.W.W. Ng., Woon K.X. 2014. Effects of soil density on grass-induced suction distributions in compacted soil subjected to rainfall. *Canadian Geotechnical Journal*, 2014, 51(3): 311-321, <https://doi.org/10.1139/cgj-2013-0221>.
- Linsley, et al, *Hidrologi Untuk Insinyur*, Penerbit Erlangga, Jakarta, Edisi Ketiga, 1984
- Lucas, W. C. and M. Greenway. 2011. Hydraulic Response and Nitrogen Retention in Bioretention Mesocoms with Regulated Outlets: *Part*

I-Hydraulic Response. Water Environment Research 83(8): 692-702

MacDonagh, P. 2011. The urban forest is broken: How we can enhance 1,000,000 tree initiatives to meet stormwater goals. In low impact development technology design methods and case studies, *American Society of Civil Engineers*, Reston, Virginia.

MacDonagh, P. 2015. *The state of the science using urban trees for stormwater management*. In 12th Annual Water Conservation Showcase, San Francisco, CA.

Mahdian, Mohammad Hosein, Reza Sokouti, Kourosh Kamali. 2011. Appraisal of the Trend of Soil Infiltration Rate Changes in Food Spreading Station of Iran. *International Journal of Natural Resources and Marine Sciences*, 1(1): 33-43

Mamedov, A. I., I. Shainberg, L. E. Wagner, D.N. Warrington, G. J. Levy. 2009. Infiltration and Erosion in Soils Treated with Dry PAM, of Two Molecular Weights, and Phosphogypsum. *Australian Journal of Soil Research*, 47 : 788-795

Mao Lili, etc, Method For Measuring Soil Infiltration : State Of The Art, *International Journal Agriculture and Biologic Engineering*, vol 1 No. 1, August 2008, [http : //www.ijabe.org](http://www.ijabe.org)

Martin, Deborah A., John A. Moody. 2001. Comparison of Soil Rates in Burned and Unburned Mountainous Watersheds. *Hydrol Process*, 15: 2893-2903

Menkimpraswil, 2002. *Kebijakan dan program terpadu bidang permukiman dan prasarana wilayah dalam rangka penanganan banjir nasional*. (Online), (<http://bebasbanjir2025.wordpress.com>, diakses 22 Mei 2013).

Merwade, Venkatesh, Francisco Olivera, Mazdak Arabi, Scott Edleman. 2008. Uncertainty in Flood Inundation Mapping: Current Issue and Future Direction. *Journal of Hydrologic Engineering*: 608-620

Muhammad Bisri, *Aliran Air Tanah*, UPT Penerbitan Fak, Teknik, Universitas Brawijaya, Malang, Edisi kedua 1997

Myung, Jay I., Mark A. Pitt, Daniel J. Navarro. 2007. *Does Response Scaling Cause The Generalized Context Model to Mimic a Prototype Model*. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14 : 1043-1050

Nazir, Moh. 1998. *Metode Penelitian*. Jakarta : Ghalia Indonesia

Obus. 2016. *Manual Book for Basic Hydrology System*. Bandung.

Palopo. 2013, *Ada 22 Titik Rawan Banjir di Makassar*. (Online), (<http://www.paloponews.com>, diakses 26 Januari 2013).

- Pathirana, Assela, Srikantha Herath, Tadashi Yamada. 2003. Estimating Rainfall Distribution High Temporal Resolutions Using a Multifractal Model. *Hydrology and Earth System Sciences*, 7(5) : 668-679
- Peng Li, etc, *Effect Of Vegetation Cover Types On Soil Infiltration Under Simulating Rainfall*, ISCO 2004, 13th International Soil Conservation Organisation Conference – Brisbane, July 2004.
- Pinto, M. I. M., T. W. Cownsens. 1999. Modeling A Geotextile-Reinforced, Brick-Faced Soil Retaining Wall. *Geosynthetic International*, Vol 6, No. 5 : 417 - 447
- P. Kovaricek, etc, *Measurement Of Water Infiltration In Soil Using The Rain Simulation Method*, Ministry Of Agriculture Of The Czech Republic No. MZE.00002703101 and IG57042, RES AGR ENG, 54, 2008 (3) 123 - 129
- Rahadi, Bambang, Soemarno, Aniek Masrevaniah, Sugeng Priyono. 2008. Kalibrasi dan Evaluasi Kinerja Rainfall Simulator. *Jurnal Teknik Pertanian Vol. 9 No. 3* : 190-198
- Rawlings, J. O., Sastry G. Pantula, and David A. Dickey. *Applied Regression Analysis: A Research Tool*, Second Edition. Springer, New York, 1998
- Scharenbroch, B. C., Morgenroth, J., and B. Maule. 2016. Tree species suitability to bioswales and impact on the urban water budget. *Journal of Environmental Quality*, 45: 1: 199-206.
- Selbig, W. R., and Balster Nicholas. 2010. *Evaluation of Turf-Grass and Prairie-Vegatated Rain Gardens in a Clay and Soil*. Scientific Investigation Report 2010-5077, Madison, Wisconsin, Water Years 2004-08
- Skorobogatov, Anton. Wendy Thorne, and Bernard Amell. 2013. *Biological Elements in Rain Garden Design*. Presentation given at 2013 International Low Impact Development Symposium, August 18-21, 2013, Saint Paul, Minnesota.
- Soemarto CD, *Hidrologi Teknik*, Penerbit : Usaha nasional, Surabaya, Indonesia, 1987
- Sosrodarsono S dan Takeda K, *Hidrologi Untuk Pengairan*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, Cetakan Keenam, 1987
- Sosrodarsono S, Kazuto N, *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, Cetakan Ketujuh, 2000
- Sri Harto BR, *Analisis Hidrologi*, Penerbit : PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1993

- Sri Harto BR, *Hidrologi ; Teori, Masalah, Penyelesaian*, Penerbit : Nafiri Offset, Yogyakarta, 2000
- Stumpp, C., Maloszewski, P., 2010. Quantification of preferential flow and flow heterogeneities in an unsaturated soil planted with different crops using the environmental isotope. *J. Hydrol.* 394 (3), 407–415.
- Sunjoto. 2012. *Subsurface Hydrology*. Post Graduate Program Departement of Civil Engineering Faculty of Engineering Gadjah Mada University, Yogyakarta
- Suripin, 2004. *Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Tescan, Levent., Mehmet Ekmekci. 2004. Surface Cover Infiltration Index: A Suggested Method To Assess Infiltration Capacity For Intrinsic Vulnerability In Karstic Areas In Absence Of Quantitative Data. *Int. J. Speleol*, 33: 35-48
- Thaha, Muhammad Arsyad. 2006. *Sistem Fluidisasi untuk Rekayasa Pemeliharaan Alur*. Disertasi Tidak Diterbitkan. UGM, Yogyakarta
- Triatmodjo, B. 2010. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset. Yogyakarta
- Tzamopoulos, C., C. Evangelides, G. Arampatzis, E. Anastasiadis. 2005. Water Mass Balance in The Case of Vertical Infiltration. *Global NETS Journal*, Vol. 7, No. 3 : 274-280
- W. Allan McGinty, Fred E. Smeins and Leo B. Merrill. 1979. Influence of Soil, Vegetation, and Grazing Management on Infiltration Rate and Sediment Production of Edwards Plateau Rangeland . *Journal of Range Management* 32(1). January 1979.
- Warrick, A. W., N. Lazarovitch, A. Furman, D. Zerihun. 2007. Explicit Infiltration Function for Furrows. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Jul/August : 307-313
- Weiler, M., 2005. An infiltration model based on flow variability in macropores: development, sensitivity analysis and applications. *J. Hydrol.* 310 (1), 294–315.
- Wondzell, S.M., and J.G. King. 2003. Post fire Erosional Processes in the Pacific Northwest and Rocky Mountain Regions. *Forest Ecology and Management* 178(1-2):75-87.
- Wossink, A., and B. Hunt. 2004. *The evaluation of cost and benefits of structural stormwater best management practices in North Carolina*, Published by North Carolina Cooperative Extension Service.

- Yang, H. et. al, Behavior of Unsaturated Layered Soil Columns during Infiltration, *Journal Of Hydrologic Engineering* (c) ASCE/ July/August 2006
- Yudianto, Doddy, Andreas F. V. Roy. 2009. Pemanfaatan Kolam Retensi dan Sumur Resapan pada Sistem Drainase Kawasan Padat Penduduk. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 5 No. 2 : 104-121
- Yuwono, Nur. 1996. *Perencanaan Model Hidraulik (Hydraulic Modelling)*. Laboratorium Hidraulik dan Hidrologi Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik. UGM, Yogyakarta
- Zadeh, Kazemi. M., and A.R. Sepaskah. 2016. Effect of Tree Roots on Water Infiltration Rate Into The Soil. *Iran Agricultural Research*, 35(1) 13-20
- Zhan, Tony L. T., Charles W. W. Ng. 2004. Analytical Analysis of Rainfall Infiltration Mechanism in Unsaturated Soils. *International Journal of Geomechanics*, December: 273-284
- Zolfaghari, A. A. et al. 2012. Comparison Of Different Models for Estimating Cumulative Infiltration, *International Journal Of Soil Science* 7(3) : 108-115, 2012.

**SURAT PERNYATAAN
PERTANGGUNG JAWABAN PENULISAN DISERTASI**

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Abd. Rakhim
Nim : P0800311441
Program Studi : Teknik Sipil
Alamat : Taborong, RT.002 RW. 002, Bontoala, Kec.Pallangga,
Kab. Gowa

Dengan ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa disertasi yang berjudul
**PERANAN AKAR POHON SEBAGAI MEDIA PENINGKATAN KAPASITAS
INFILTRASI**

adalah hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan plagiat.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran.
Apabila saya memberikan pernyataan yang tidak benar, saya bersedia
menerima sanksi yang berlaku.

Makassar,

Yang menyatakan,



ABD. RAKHIM