



ANALISIS PENGARUH TINGKAT INTENSITAS CURAH HUJAN TERHADAP PARAMETER KEJUT KAPILER PADA JENIS TANAH YANG BERBUTIR HALUS

Huswan Wahyullah^{1)*)}, Nur Indah Epira²⁾, Darwis Panguriseng³⁾

¹⁾²⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar

³⁾ Guru Besar Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar

^{*)} Corresponding Author. Email : huswanwahyullah017@gmail.com

Abstrak

Menurut Darwis 2018 kejut kapiler adalah fenomena penurunan muka air tanah diawal musim penghujan. Fenomena yang muncul adalah pada saat awal musim hujan justru air tanah jenuh permukaan mengalami penurunan atau dehidrasi. Penurunan muka air tanah diawal musim penghujan ini tentu merugikan masyarakat sebagai pengguna air tanah untuk pemenuh kebutuhan air konsumtif maupun kebutuhan pertanian dan perkebunan. Kejut kapiler memiliki dua parameter yang dapat diukur yaitu tinggi kejut kapiler dan waktu kejut kapiler sehingga dapat dilakukan penelitian lebih lanjut tentang fenomena tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengungkap pengaruh tingkat intensitas curah hujan dengan menguji tingkat intensitas curah hujan $I_5, I_{15},$ dan I_{25} terhadap waktu kejut kapiler dan tinggi kejut kapiler pada tiga jenis tanah berbutir halus. Penelitian ini dimulai dengan pengambilan sampel lapangan kemudian diuji di laboratorium untuk mengklasifikasikan tiga jenis tanah berbutir halus yang akan digunakan, kemudian dilanjutkan dengan perhitungan curah hujan dari data stasiun curah hujan terdekat dari lokasi pengambilan sampel tanah. Selanjutnya penelitian model dilakukan di Desa Lonjoboko Kabupaten Gowa menggunakan alat model simulasi kejut kapiler yang didesain berdasarkan pengembangan dari penelitian lapangan. Akhir penelitian ini menunjukkan bahwa tingkat intensitas curah hujan dan karakteristik tanah sangat mempengaruhi fenomena kejut kapiler.

Kata Kunci : Kejut kapiler, waktu kejut kapiler, tinggi kejut kapiler, intensitas curah hujan.

Abstract :

According to Darwis 2018, capillary shock is a phenomenon of lowering the ground water level at the beginning of the rainy season. The phenomenon that arises is at the beginning of the rainy season, the surface saturated ground water decreases or becomes dehydrated. The decrease in ground water level at the beginning of rainy season is certainly detrimental to the community as groundwater users to meet consumptive water needs as well as agricultural and plantation needs. Capillary shock has two parameters that can be measured, namely capillary shock height and capillary shock time so that further research can be carried out on this phenomenon. This study aims to reveal the effect of rainfall intensity levels by testing the rainfall intensity levels $I_5, I_{15},$ and I_{25} to capillary shock time and capillary shock height on three types of fine-grained soils. This study began with field sampling and then tested in the laboratory to classify three types of fine-grained soil to be used, then continued with rainfall calculations from data from the nearest rainfall station from the soil sampling location. Furthermore, the model research was carried out in Lonjoboko Village, Gowa Regency using a capillary shock simulation model research which was designed based on the development of field research. The end of this study shows that the level of rainfall intensity and soil characteristics greatly affect the capillary shock phenomenon.

Keywords : Capillary shock, capillary shock height, capillary shock time, rainfall intensity.



1. Pendahuluan

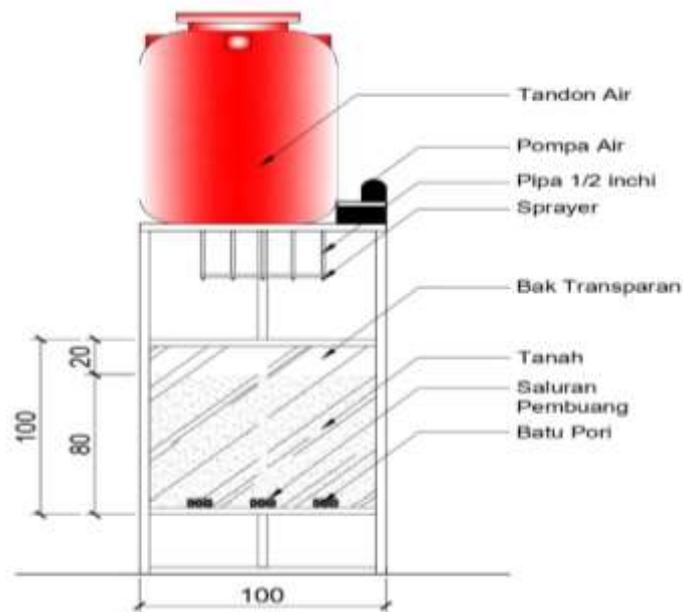
Pada awal turunnya hujan, pori tanah yang semula besar akan kembali mengecil karena sebagian pori terisi oleh air hidroskopik, air tersebut melekat kuat pada setiap butiran tanah yang menghisapnya. Pori tanah mengecil diakibatkan oleh air hidroskopik dari infiltrasi air hujan sehingga tekanan kapiler pada lapisan tanah akan meningkat dan menyebabkan pergerakan air kapiler dari lapisan tanah jenuh ke lapisan tanah tak jenuh dan memicu terjadinya degradasi air tanah atau yang kerap disebut dengan fenomena kejut kapiler (Darwis 2018). Kejut kapiler memiliki dua parameter yaitu tinggi kejut kapiler dan waktu kejut kapiler. Keduanya dapat diukur berdasarkan perilaku maupun fluktuasi muka air tanah diawal musim penghujan. Keberadaan air tanah sebagai sumber daya alam sangatlah berguna bagi kelangsungan hidup manusia di muka bumi ini. Salah satu pengguna air tanah adalah petani yang menggunakan sumur alami sebagai pemenuh kebutuhan air di lahan pertaniannya.

Fenomena penurunan muka air tanah diawal musim penghujan tentu merugikan petani yang memanfaatkan sumur sebagai pemasok kebutuhan airnya. Bagaimana tidak petani yang seharusnya mendapatkan pasokan air dimusim hujan justru harus mengalami kekurangan air diawal musim hujan saat durasi hujan masih belum menentu sehingga mengakibatkan penurunan muka air tanah pada jangka waktu tertentu. Oleh karena itu fenomena kejut kapiler menjadi relevan untuk diteliti lebih lanjut. Fenomena kejut kapiler terhadap berbagai jenis dan ukuran butiran (agregat) tanah dan bagaimana pengaruh tingkat intensitas curah hujan, merupakan langkah selanjutnya untuk mengungkap lebih banyak lagi ilmu pengetahuan tentang fenomena kejut kapiler itu sendiri. Eksistensi tanah berbutir halus merupakan jenis tanah yang memiliki permeabilitas yang kecil terhadap penyerapan air hujan, mengingat kedalaman air tanah sangat bergantung pada jenis tanah permukaan. Oleh karena itu menjadi penting bagi kami melakukan penelitian dengan judul “Analisis Pengaruh Tingkat Intensitas Curah Hujan Terhadap Parameter Kejut Kapiler Pada Tanah Yang Berbutir Halus”.

2. Bahan dan Metode

2.1. Bahan :

Penelitian ini adalah suatu pengembangan dari penelitian lapangan yang mana pada penelitian tersebut terjadi fenomena air tanah yang jarang ditemui yaitu fenomena kejut kapiler. Pemodelan alat simulasi kejut kapiler dilakukan untuk mempermudah dan memaksimalkan penelitian lanjutan tentang fenomena kejut kapiler. Semua alat dan bahan penelitian dipersiapkan sedemikian rupa guna mendukung kesempurnaan dan menekan kesalahan pada saat penelitian dilakukan. Adapun gambar alat model kejut kapiler yang digunakan dapat dilihat pada gambar 1 berikut ini :



Gambar 1. Sketsa Alat Model Simulasi Kejut Kapiler

Pada gambar 1 dapat dilihat berbagai macam bagian yang memiliki fungsi masing-masing yang telah dirancang untuk mempermudah pengujian pada saat proses *running* simulasi dilakukan. Tandon air berfungsi sebagai tempat penampungan air sesuai intensitas yang digunakan, pompa air berfungsi sebagai pendorong air pada saat simulasi hujan untuk memastikan hujan tetap konstan, pipa air sebagai penyalur air dari tandon menuju *sprayer*, bak transparan sebagai tempat penyimpanan sampel tanah dan disisi lain sebagai bak kontrol muka air tanah, saluran pembuang sebagai saluran pembersihan, dan batu pori sebagai media tempat merembesnya air dari bak control air tanah ke bak yang berisi air tanah.

2.2. Metode :

Berdasarkan fenomena kejut kapiler di lapangan maka peneliti menggunakan metode penelitian model eksperimental (*experimental research model*) untuk mencari tahu tentang fenomena air tanah yang terjadi. Prosedur pengujian terdiri dari beberapa proses yaitu, persiapan, pemeriksaan media tanah, kalibrasi, dan running test. Persiapan pengujian meliputi hal-hal yang harus dilakukan sebelum pengujian dilakukan agar pengujian dapat berlangsung dengan baik seperti pembersihan alat, pengecekan bahan, persiapan perangkat instrumen, dan persiapan personil pengamatan.

Setelah persiapan selesai maka dilanjutkan dengan pemeriksaan media tanah, dalam hal ini media tanah harus dipastikan dalam kondisi kering dan gembur sebelum dilakukan pengujian. Selain itu proses kalibrasi alat juga perlu dilakukan untuk mencocokkan besarnya air yang disimulasikan sama dengan intensitas curah hujan yang digunakan. Kalibrasi alat



dilakukan dengan cara mengisi tandon air sesuai dengan besarnya intensitas dengan gelas ukur kapasitas dua liter hingga mencapai intensitas yang ditentukan. Kemudian *sprayer* disetting besar semprotannya. Simulasi hujan dilakukan satu jam dengan kondisi mesin pendorong air menyala agar semprotan air konstan.

Setelah semua proses tadi selesai maka running simulasi siap dilaksanakan. Mula-mula dilakukan pengisian bak simulasi dengan sampel tanah, kemudian sampel tanah dipadatkan menggunakan bor penggetar dengan metode pemadatan yaitu, melakukan pemadatan tiap lapisan 20 cm dilakukan 4 kali hingga ketinggian 80 cm (asumsikan menyerupai kepadatan lapangan). Bak kontrol muka air tanah yang diasumsikan sebagai lubang atau sumur air di lapangan diisi dengan air setinggi 25 cm yang dibiarkan merembes dari samping melalui batu pori. Jika air habis maka dilakukan penambahan air dengan interval 15 cm hingga dasar tanah homogen, hal ini bertujuan untuk menyerupai kondisi air tanah di lapangan. Bagian atas alat simulasi kejut kapiler ditutup menggunakan tirai plastik transparan untuk mencegah kehilangan air pada saat pengujian dilakukan. Proses simulasi hujan dan pengukuran kejut kapiler siap dilakukan. Bak air tanah diisi air setinggi 25 cm, kemudian segera setelah itu *sprayer* (alat penyemprot) dan mesin penggerak air dinyalakan bersamaan dengan *stopwatch*. Pengukuran parameter kejut kapiler yaitu, waktu kejut kapiler dan tinggi kejut kapiler dilakukan tiap menit. Pengukuran dihentikan jika air hujan dengan intensitas yang telah ditentukan telah habis dan ketinggian air tanah telah konstan.

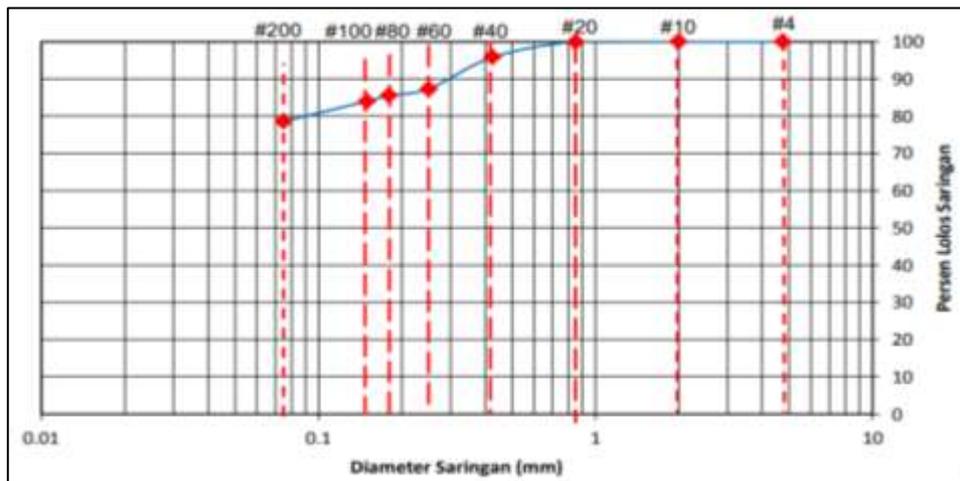
3. Hasil dan Pembahasan

Setelah melakukan pengamatan menggunakan alat simulasi hujan yang dilakukan di Jalan Poros Malino Desa Lonjoboko Kabupaten Gowa, dengan menggunakan media tiga jenis tanah berbutir halus yang diambil pada tiga lokasi yang berbeda yaitu, lempung lanau berpasir (*sandy silty clay*) yang berlokasi di Jungle Camp Waduk Bili-bili Kab. Gowa, lempung pasir berlanau (*silty sandy clay*) yang berlokasi di Malino Kec. Parigi Kab. Gowa, dan lanau lempung berpasir (*sandy clayey silt*) yang berlokasi di Desa Pakatto Kec. Bontomarannu Kab. Gowa) kemudian diuji di dalam alat simulasi kejut kapiler menggunakan tiga jenis intensitas curah hujan yaitu, I_5 , I_{15} , dan I_{25} di tiga lokasi terdekat dari pengambilan sampel tanah yaitu stasiun curah hujan Pakatto, stasiun curah hujan Malino, dan stasiun curah hujan Jenetallasa. Maka diperoleh penurunan muka air tanah diawal musim penghujan (*Beginning of rainy season*) atau yang disebut dengan istilah kejut kapiler pada tiga jenis tanah tersebut. Adapun hasil penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

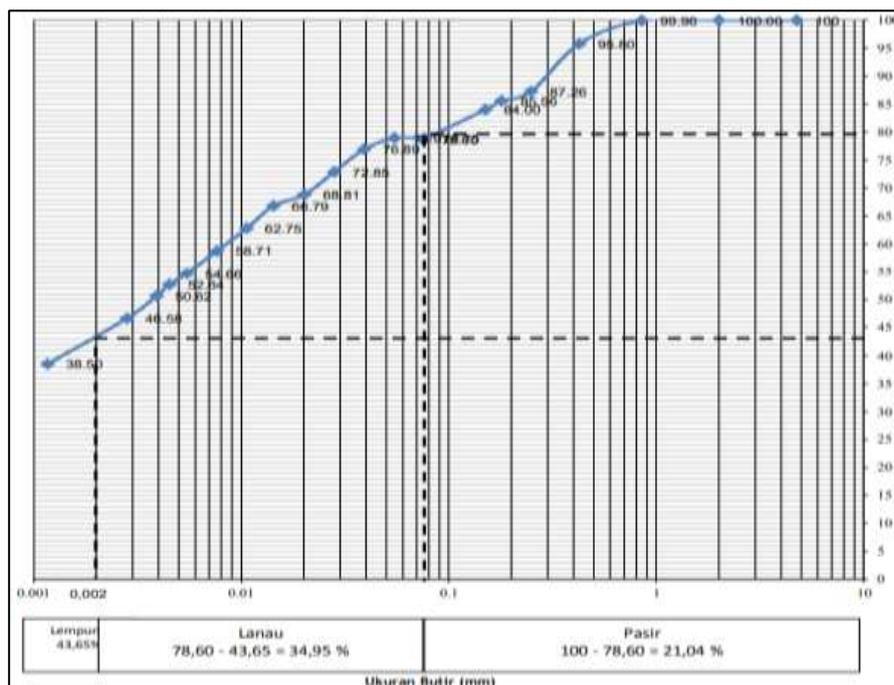


3.1 Hasil Pengujian karakteristik tanah

Sampel pertama berlokasi di Jungle Camp Waduk Bili-Bili Kab Gowa. Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan diperoleh berat tanah yang lolos saringan No. 200 seberat 404,40 gram dari total berat tanah 500 gram. Sehingga tanah yang diuji dapat dikategorikan sebagai tanah berbutir halus (metode USCS). Berikut ini grafik hasil pengujian analisa saringan dan hidrometer :



Gambar 2. Grafik Analisa Saringan Sampel Bili-Bili



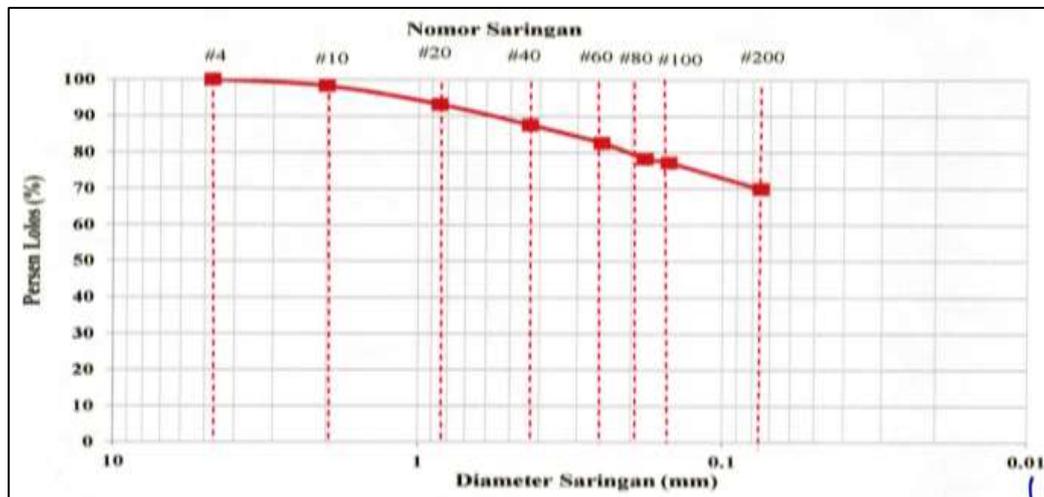
Gambar 3. Grafik Pembagian Butir Analisa Hidrometer Sampel Bili-Bili

Selanjutnya dari gambar 2 dan gambar 3 diatas diperoleh hasil pengujian karakteristik tanah, maka diperoleh persentase ukuran butiran dominan sampel Bili-Bili adalah, lempung

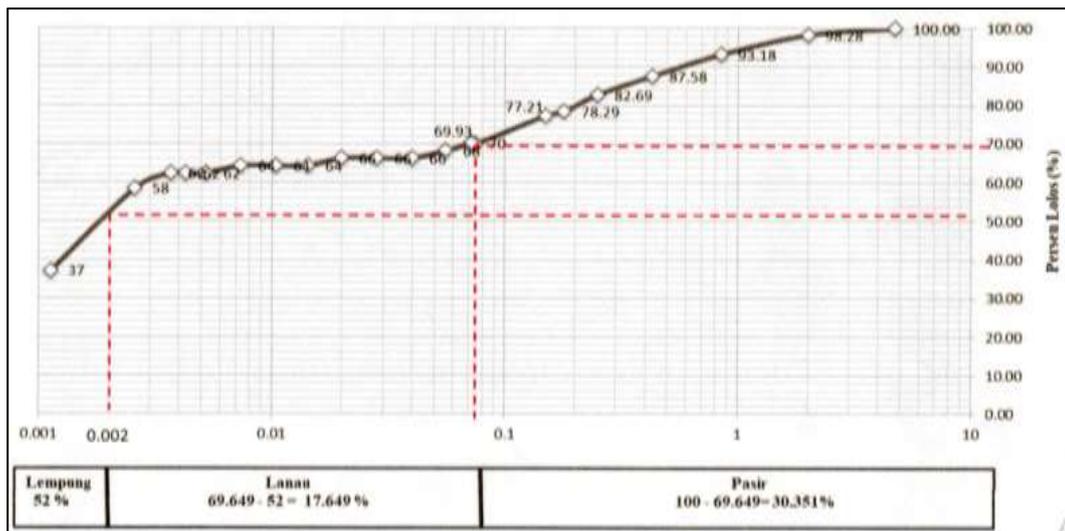


43,65%, lanau 34,95%, dan pasir 21,04%. Persentase ukuran dominan butiran diatas menunjukkan bahwa jenis tanah yang telah diuji di laboratorium adalah lempung lanau berpasir (*sandy silty clay*).

Sampel kedua berlokasi di Malino Kec Parigi Kab Gowa. Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan diperoleh berat tanah yang lolos saringan No. 200 seberat 174,823 gram dari total berat tanah 250 gram. Sehingga tanah tersebut juga termasuk dalam jenis tanah berbutir halus. Berikut ini grafik hasil pengujian analisa saringan dan hidrometer :



Gambar 4. Grafik Analisa Saringan Sampel Malino



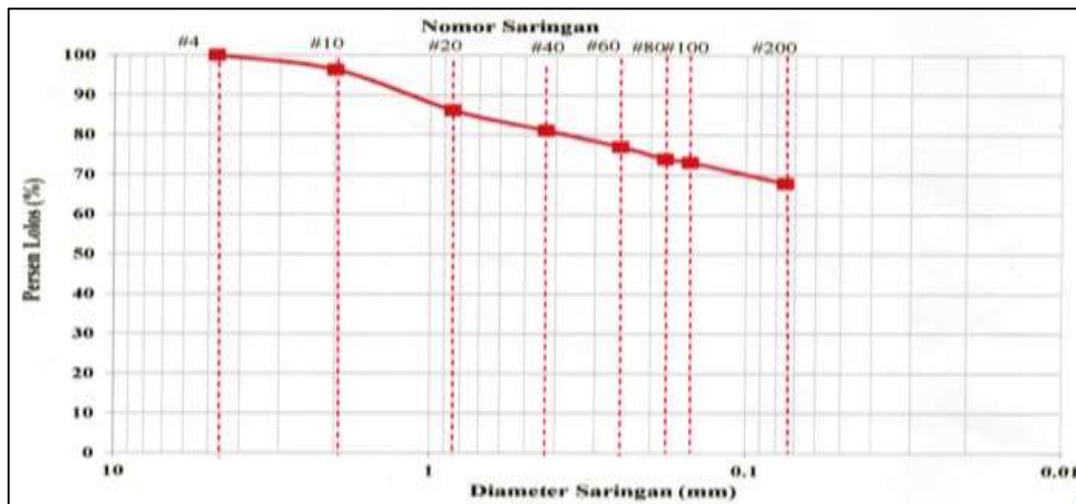
Gambar 5. Grafik Pembagian Butir Analisa Hidrometer Sampel Malino

Selanjutnya dari gambar 4 dan gambar 5 dapat dilihat hasil perhitungan karakteristik tanah diperoleh persentase ukuran butiran dominan sampel Malino yaitu, lempung 52,00%, pasir 30,35 %, dan lanau 17,65%. Dari persentase ukuran butiran dominan tersebut maka jenis tanah diatas dikategorikan sebagai jenis tanah lempung pasir berlanau (*silty sandy clay*).

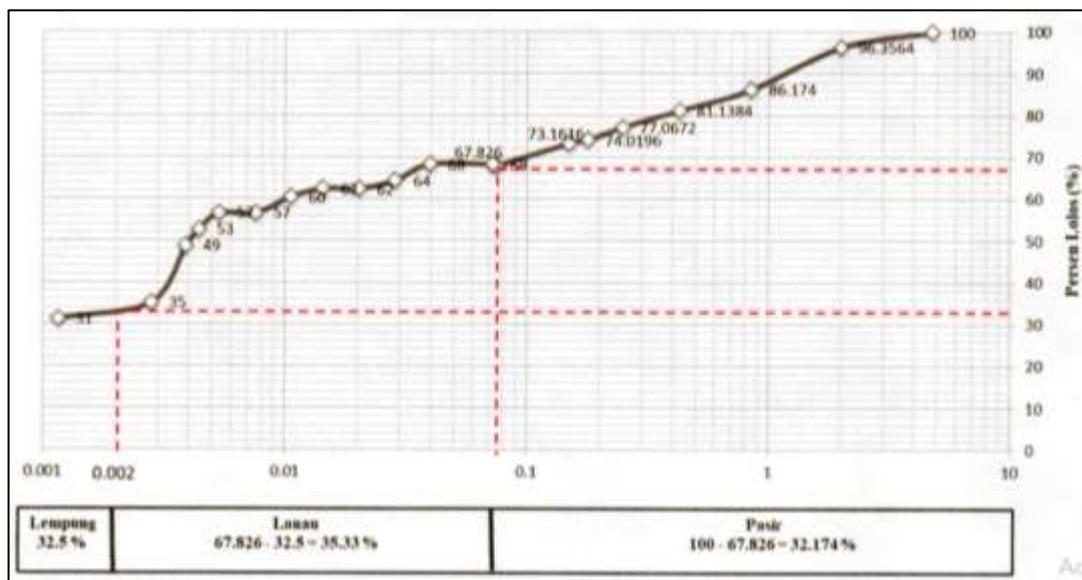
Sampel ketiga berlokasi di Pakatto Kec Bontomarannu Kab Gowa. Setelah melakukan pengujian analisa saringan untuk tanah Pakatto diperoleh berat tanah yang lolos saringan No.



200 seberat 169,565 gram dari total berat tanah 250 gram. Sehingga tanah tersebut juga termasuk dalam jenis tanah berbutir halus.



Gambar 6. Grafik Analisa Saringan Sampel Pakatto



Gambar 7. Grafik Pembagian Butir Analisa Hidrometer Sampel Pakatto

Berdasarkan gambar 6 dan gambar 7 diperoleh persentase ukuran butiran dominan sampel Pakatto yaitu, lanau 35,33%, lempung 32,50%, dan pasir 32,17%. Dari hasil pengujian laboratorium tersebut dapat dilihat bahwa jenis tanah di atas merupakan jenis tanah lanau lempung berpasir (*sandy clayey silt*).

3.2 Hasil Perhitungan Curah Hujan

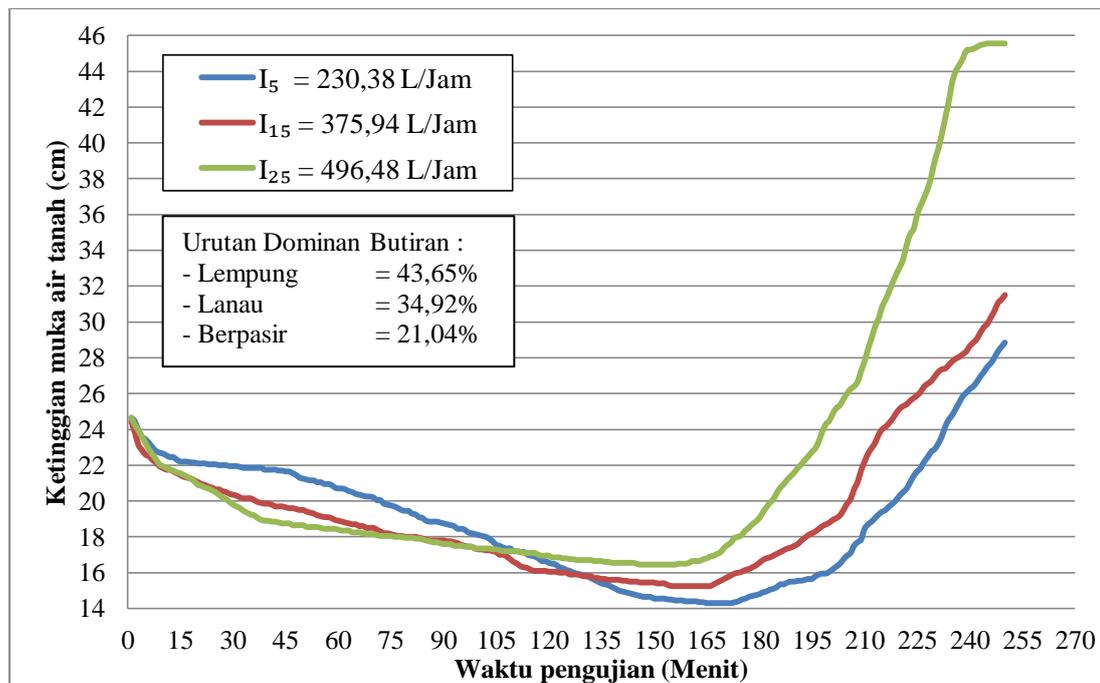
Perhitungan curah hujan rencana menggunakan metode distribusi Log Pearson Type III dikarenakan metode tersebut yang paling mendekati beberapa parameter yang menjadi syarat



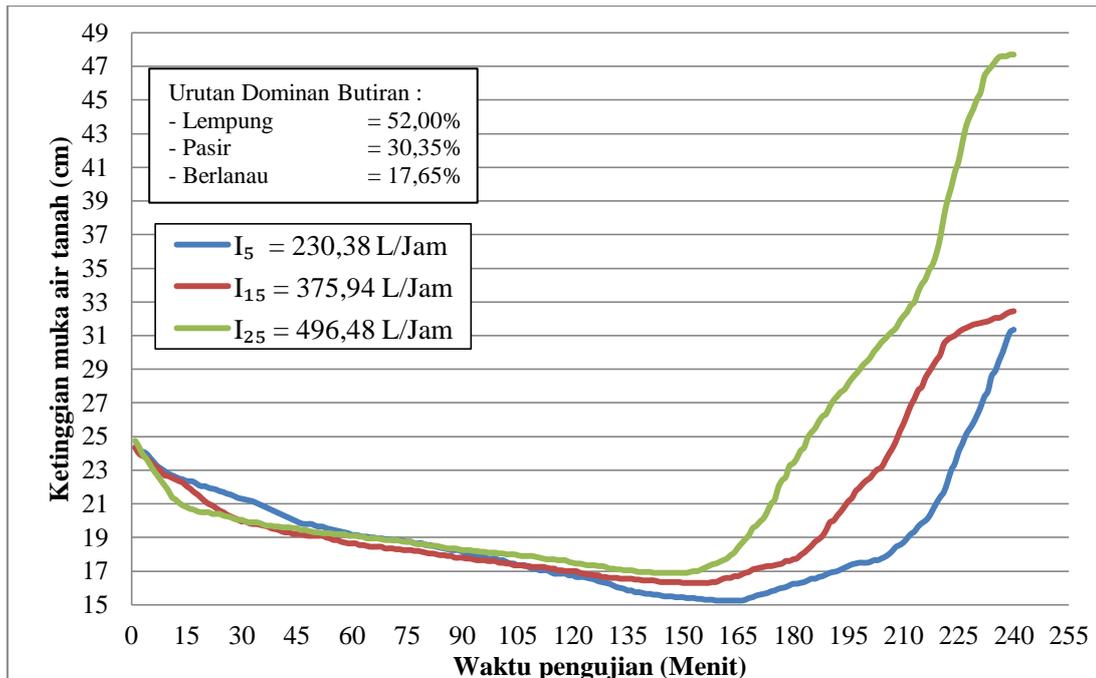
penggunaan suatu metode distribusi, dengan nilai $C_s = 0,89$ dan $C_v = 0,14$ yang memenuhi persyaratan. Selanjutnya, nilai C_s dan C_v pada metode distribusi Log Pearson type III digunakan pada metode mononobe untuk menghitung intensitas curah hujan. Adapun hasil perhitungan intensitas curah hujan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, $I_5 = 230,38$ L/Jam, $I_{15} = 375,94$ L/Jam, dan $I_{25} = 496,48$ L/Jam.

3.3 Fluktuasi Air Tanah

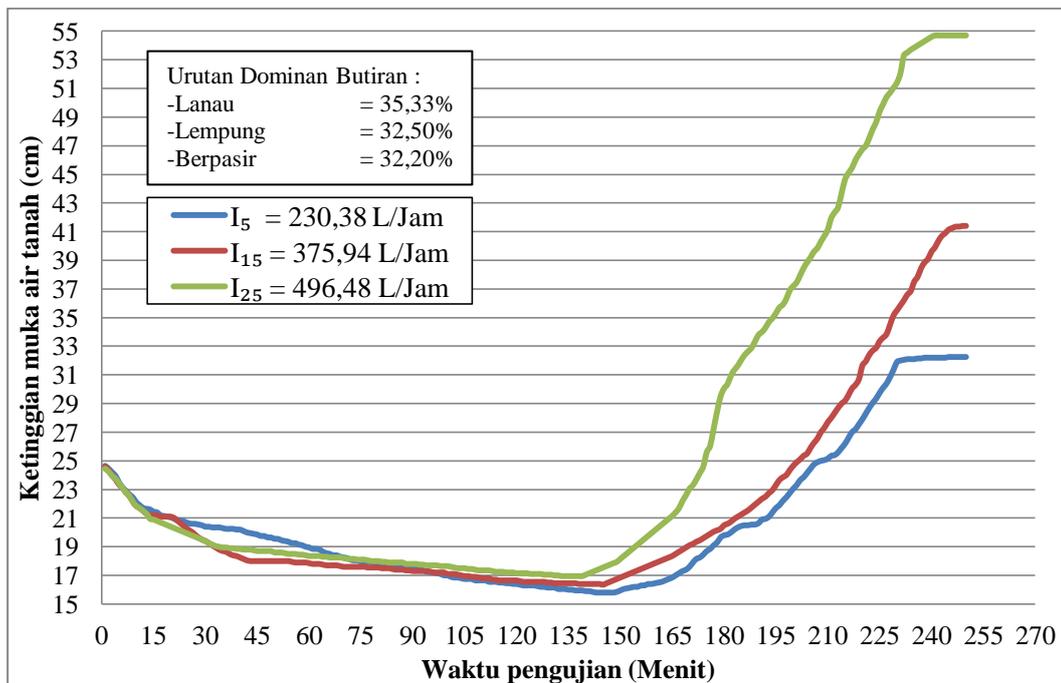
Pengukuran fluktuasi air tanah ini bertujuan untuk mengetahui ketinggian level muka air tanah baik sebelum maupun setelah dihujani. Hasil pengukuran fluktuasi air tanah adalah sebagai berikut :



Gambar 8. Grafik Kombinasi Fluktuasi Muka Air Tanah Pada Jenis Tanah Lempung Lanau Berpasir (*Sandy Silty Clay*) Bili-Bili Dengan Intensitas Curah Hujan I_5 , I_{15} , Dan I_{25}



Gambar 9. Grafik Kombinasi Fluktuasi Muka Air Tanah Pada Jenis Tanah Lempung Pasir Berlempung (*silty sandy clay*) Malino, Dengan Intensitas Curah Hujan I₅, I₁₅, Dan I₂₅



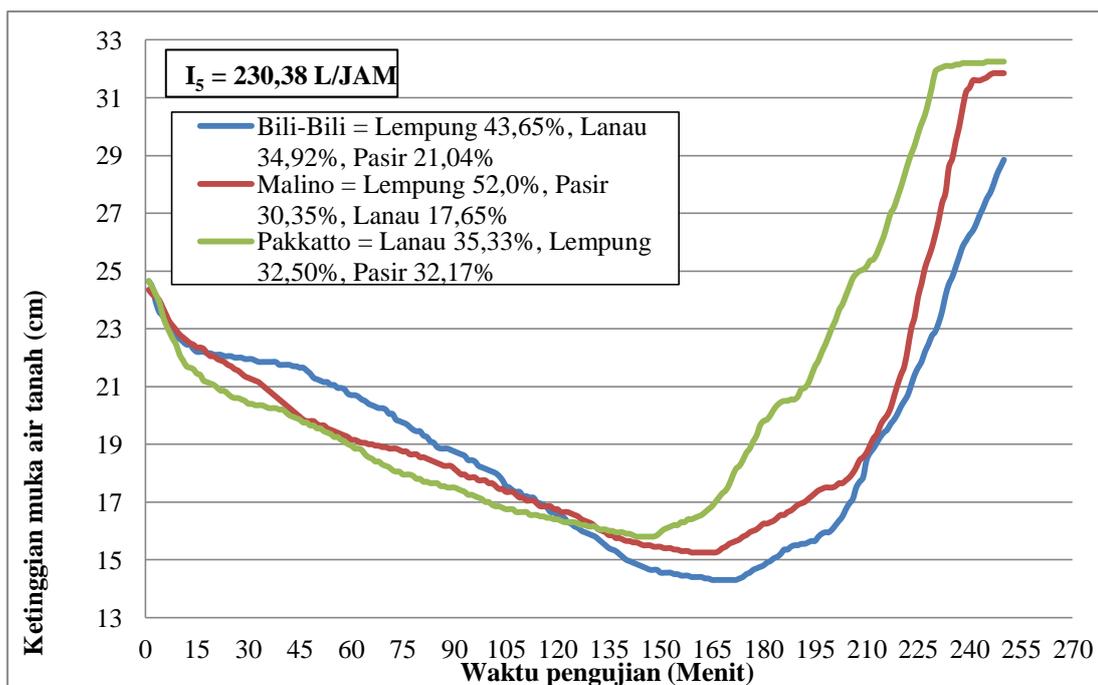
Gambar 10. Grafik Kombinasi Fluktuasi Muka Air Tanah Pada Jenis Tanah Lanau Lempung Berpasir (*sandy clayey silt*) Pakatto Dengan Intensitas Curah Hujan I₅, I₁₅, Dan I₂₅

Setelah melakukan *running* simulasi menggunakan media tiga jenis tanah yaitu lempung lanau berpasir (*sandy silty clay*), lempung pasir berlanau (*silty sandy clay*), dan lanau lempung berpasir (*sandy clayey silt*), dengan tiga jenis intensitas curah hujan I₅, I₁₅, dan

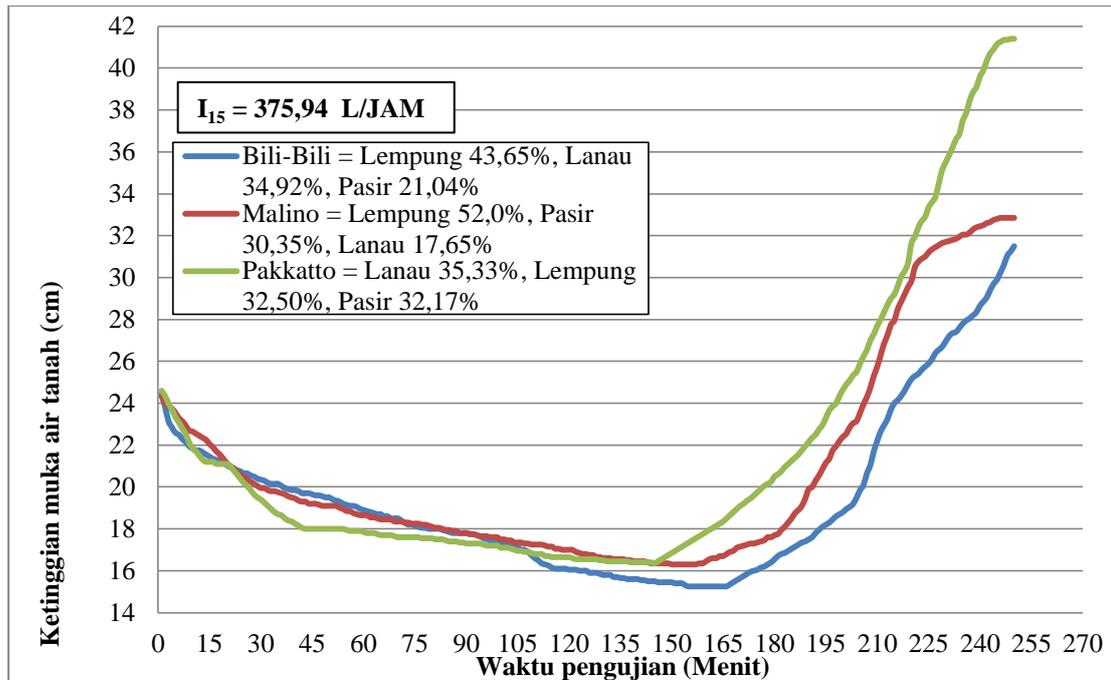


I_{25} , maka dapat dilihat bahwa besarnya intensitas curah hujan mempengaruhi penurunan dan *recovery* level ketinggian muka air tanah. Hal ini sama dengan pendapat Wiyanti dkk (2019) bahwa salah satu hal yang mempengaruhi fluktuasi muka air tanah adalah besarnya intensitas curah hujan. Dimana semakin besar intensitas curah hujan yang digunakan maka penurunan dan *recovery* level ketinggian muka air tanah juga akan semakin singkat begitupun sebaliknya.

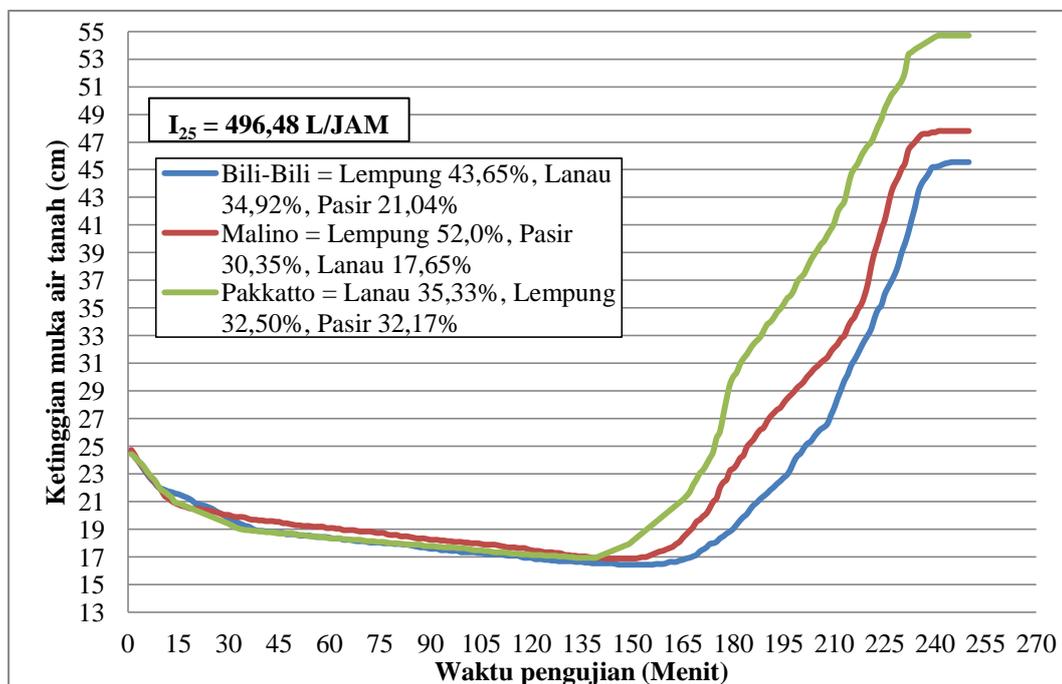
Untuk mengetahui pengaruh ukuran butiran terhadap terhadap penurunan dan *recovery* level ketinggian muka air tanah, maka disajikan grafik sebagai berikut :



Gambar 11. Grafik Kombinasi Pada Intensitas Curah Hujan I_5 Dengan Tiga Jenis Tanah Penelitian



Gambar 12. Grafik Kombinasi Pada Intensitas Curah Hujan I_{15} Dengan Tiga Jenis Tanah Penelitian



Gambar 13. Grafik Kombinasi Pada Intensitas Curah Hujan I_{25} Dengan Tiga Jenis Tanah Penelitian

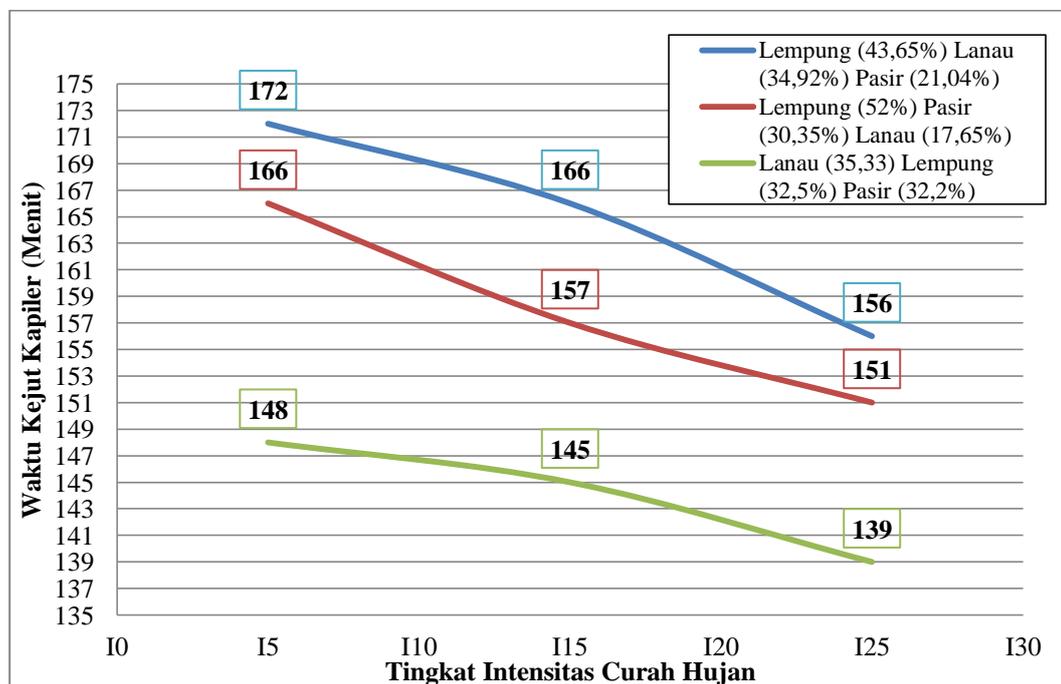
Dari gambar 13 diatas diperoleh kecepatan penurunan dan *recovery* level ketinggian muka air tanah berurutan dari lanau lempung berpasir (*sandy clayey silt*), lempung pasir berlanau (*silty sandy clay*), kemudian yang terakhir lempung lanau berpasir (*sandy silty clay*). Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar presentase ukuran dominan butiran maka waktu



penurunan dan *recovery* level ketinggian muka air tanah akan semakin singkat. Maka diperoleh hasil penurunan dan *recovery* level ketinggian muka air tanah pada karakteristik butiran tanah yang lebih besar lebih singkat daripada jenis tanah dengan persentase ukuran butiran dominan yang lebih kecil.

3.4 Waktu Kejut Kapiler

Berdasarkan gambar 14 dibawah ini, diperoleh singkatnya waktu kejut kapiler berurutan berdasarkan presentase ukuran butiran terbesar dan tingkat intensitas curah hujan terbesar yang digunakan. Hal ini dikarenakan semakin besar presentase ukuran butiran dominan maka ukuran pori juga akan semakin besar dan mempercepat proses infiltrasi mencapai zona kapiler sehingga memicu tekanan kapiler yang mengakibatkan durasi waktu saat level muka air tanah turun, sejak menerima curah hujan yang berlangsung hingga level muka air tanah kembali naik, sampai level semula (waktu kejut kapiler) akan semakin cepat.



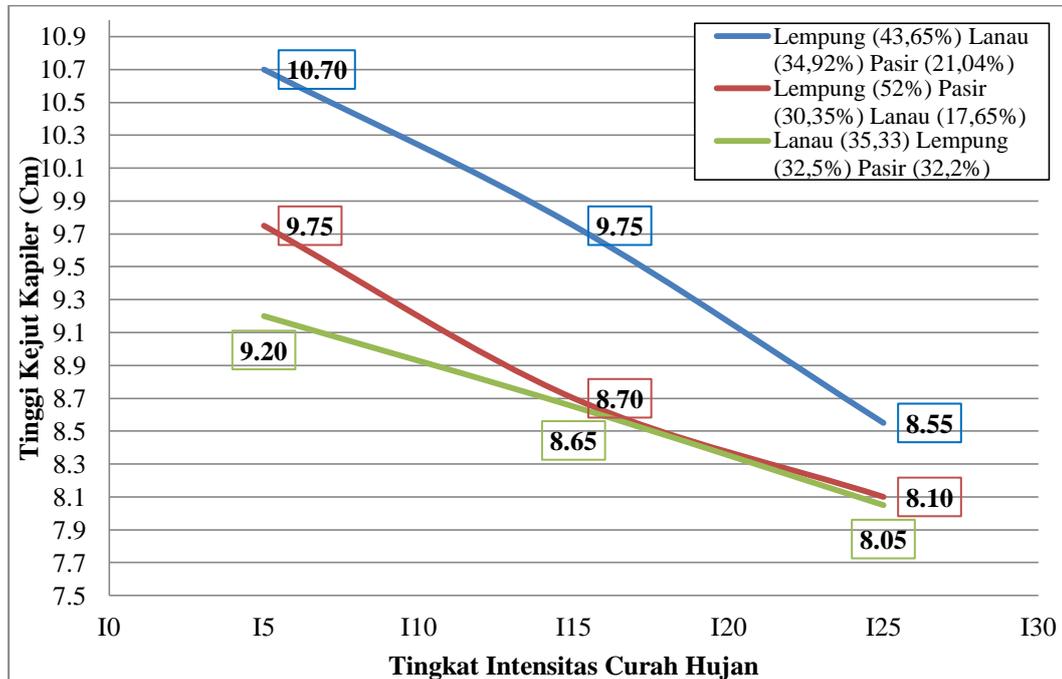
Gambar 14. Grafik Kombinasi Hubungan Intensitas Curah Hujan & Waktu Kejut Kapiler

3.5 Tinggi Kejut Kapiler

Berdasarkan gambar 14 berikut ini, diperoleh hal sebaliknya dari perilaku waktu kejut kapiler diatas, dimana semakin besar persentase ukuran butiran dominan dan semakin besar tingkat intensitas curah hujan maka tinggi kejut kapiler akan semakin kecil. Ukuran butiran dan tingkat intensitas yang lebih kecil memungkinkan tekanan kapiler yang lebih besar



disamping itu laju infiltrasi yang semakin lama akan semakin melambat akibat pori tanah yang kecil mengakibatkan tinggi degradasi level muka air tanah sebelum terdegradasi dan setelah kembali naik selisihnya akan semakin besar begitupun sebaliknya.



Gambar 15. Grafik Kombinasi Hubungan Intensitas Curah Hujan & Tinggi Kejut Kapiler

4. Kesimpulan

- 4.1 Pengaruh intensitas curah hujan terhadap waktu kejut kapiler pada tanah berbutir halus adalah, semakin besar intensitas curah hujan maka waktu kejut kapiler akan semakin singkat, sebaliknya semakin kecil intensitas curah hujan maka waktu kejut kapilernya akan semakin lama. Pengaruh intensitas curah hujan terhadap tinggi kejut kapiler pada tanah berbutir halus adalah, semakin besar intensitas curah hujan maka tinggi kejut kapiler akan semakin kecil, sebaliknya semakin kecil intensitas curah hujan maka tinggi kejut kapilernya akan semakin besar.
- 4.2 Pengaruh ukuran butiran terhadap waktu kejut kapiler adalah, semakin besar butiran suatu tanah maka waktu kejut kapilernya akan semakin singkat, sebaliknya semakin kecil ukuran butirannya maka waktu kejut kapilernya akan semakin lama. Pengaruh ukuran butiran terhadap tinggi kejut kapiler adalah, semakin besar ukuran butiran suatu tanah maka tinggi kejut kapilernya akan semakin kecil. Sebaliknya semakin kecil ukuran butiran suatu tanah maka tinggi kejut kapilernya akan semakin besar.



Ucapan Terimakasih

Dengan segala ketulusan serta keikhlasan hati, kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada Ayahanda dan Ibunda tercinta yang telah mendukung penuh tahap pendidikan kami, Kepala Laboratorium Mekaniak Tanah Universitas Bosowa Makassar beserta staf, dan Kepala Laboratorium Mekankika Tanah Politeknik Ujung Pandang beserta seluruh staf, serta pembimbing penelitian yang telah memberikan bimbingan dan arahan sehingga terwujudnya penelitian ini. Tak lupa pula kami ucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang banyak membantu kami selama dalam melakukan penelitian ini, semoga semua jerih payah dan bantuan yang diberikan dapat bernilai ibadah di sisi Allah Swt.

Referensi

1. Asdak, C. 2004. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
2. Bambang Triadmojo, 2008. Hidrologi Terapan . Yogyakarta. *Beta Offset*.
3. Das, Braja M., Endah, Noor. Dan Mochtar, Indrasurya B. 1998. Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa *Geoteknik*)-Jili I., Erlangga, Jakarta.
4. Darwis et al, 2014 Pengaruh Jumlah Bambu-Rongga Sebagai Alat Pengimbuh Terhadap Durasi Kejut Kapiler Dan Waktu Pemulihan Muka Air Tanah Pada Periode Awal Musim Penghujan.
5. Darwis. 2015. Fenomena Kejut Kapiler Air Tanah pada Lahan Pengguna Irigasi Air Tanah di Takalar. Dalam: Seminar Nasional FGDT-PTM se-Indonesia.
6. Darwis, 2017 dan 2018. Pemodelan Fondasi Sumur Resapan Untuk Recovery Air Tanah Dan Pencegahan Intruksi Air Kedalam Lapisan Tanah Pada Lahan Pertanian Palawija Di Daerah Pesisir Pantai Kabupaten Takalar.
7. Darwis, 2017. Teknologi Konserfasi Air Tanah Dangkal Berbasis Potensi Lokal Dengan Bambu Sebagai Alat Pengimbuh Laporan Hasil Penelitian Unggula Perguruan Tinggi (PUPT), oktober 2017.
8. Darwis, 2018. Pengelolaan Air Tanah., Pena Indris. Nyutran MG. Yogyakarta.
9. Darwis, 2018. Kejut Kapiler Pengaruh Jumlah Bambu-Rongga Sebagai Alat Pengimbuh Terhadap Durasi Kejut Kapiler Dan Waktu Pemulihan Muka Air Tanah Pada Periode Awal Musim Penghujan.
10. Gumbel, E. J. 1941. *The Return Period Of Flood Flows. Ann. Math. Statist.*
11. Salman, Husnul Fatimah, 2021. Studi Pengaruh Intensitas Curah Hujan Terhadap Waktu Kejut Kapiler Pada Tanah Granuler. Jurnal Ilmiah Hydro Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar.
12. Terzaghi, K . and Peck, R.B., 1948, *Soil Mechanic in Engineering Practice, Wiley, New Yoork.*
13. Wesley, Laurence D. (2012). Mekanika Tanah Untuk Tanah Endapan dan Resiu. Yogyakarta.
14. Muhammad Hamzah Syhruddin, 2013. Perubahan Muka Air Tanah Daerah Cekungan Air Makassar (CAM). Jurnal Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Makassar.
15. Putu Sintayani Buana Wiyanti Dan R.Suyarto, 2019. *Agreoekoteknologi Tropika. Aplikasi Sistem Informasi Geografi Untuk Kajian Fluktuasi Muka Air Tanah Dan Karakteristik*



Akuifer di Kawasan Kecamatan Denpasar Timur Kota Denpasar. Fakultas Pertanian Universitas Udayana.