

SKRIPSI

**MAKROPOROSITAS TANAH DAN SEBARAN AKAR TANAMAN KAKAO PADA
SISTEM AGROFORESTRI SEDERHANA BERBASIS KAKAO**

YUNI ARIANTI

G11116061



**DEPARTEMEN ILMU TANAH
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2021

**MAKROPOROSITAS TANAH DAN SEBARAN AKAR TANAMAN KAKAO PADA
SISTEM AGROFORESTRI SEDERHANA BERBASIS KAKAO**

YUNI ARIANTI
G11116061

Skripsi
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Pertanian
pada
Departemen Ilmu Tanah
Fakultas Pertanian
Universitas Hasanuddin
Makassar

DEPARTEMEN ILMU TANAH

FAKULTAS PERTANIAN

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN

Judul skripsi: Makroporositas tanah dan sebaran akar tanaman kakao pada sistem agroforestri sederhana berbasis kakao

Nama: Yuni Arianti

NIM: G1111606061

Disetujui oleh:

Pembimbing Utama,

Prof. Dr. Ir. Sikstus Gusli, M.Sc
NIP. 19540406 198302 1 001

Pembimbing Pendamping,

Sartika Laban, S.P., M.P., Ph.D
NIP. 19821028 200812 2 002

Diketahui oleh:



Dr. Rismaneswati, S.P., M.P
NIP. 19760302 200212 2 002

Tanggal Lulus: 08 Juni 2021

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yuni Arianti
NIM : G111 16 06061
Program Studi : Agroteknologi
Jenjang : S1

menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Makroporositas Tanah dan Sebaran Akar Tanaman Kakao pada Sistem Agroforestri Sederhana Berbasis Kakao

adalah karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan-alihan tulisan orang lain. Semua literatur yang saya kutip sudah tercantum dalam Daftar Pustaka dan semua bantuan yang saya terima telah saya ungkapkan dalam Persantunan. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Juni 2021
Yang Menyatakan,

Yuni Arianti

ABSTRAK

YUNI ARIANTI Makroporositas Tanah dan Sebaran Akar Tanaman Kakao pada Sistem Agroforestri Sederhana Berbasis Kakao. Pembimbing: SIKSTUS GUSLI dan SARTIKA LABAN.

Latar Belakang Perakaran tanaman pada sistem agroforestri, termasuk agroforestri berbasis kakao sangat kompleks, termasuk hubungannya dengan makroporositas tanah. Disini, makroporositas tanah didefinisikan sebagai keberadaan, sebaran, dan konektivitas pori makro di dalam tanah.

Tujuan. Penelitian ini bertujuan mempelajari hubungan distribusi akar kakao dan makroporositas tanah pada sistem agroforestri sederhana berbasis kakao. **Metode.** Pengamatan makroporositas tanah dilakukan menggunakan larutan *methylene blue* yang diinfiltrasikan ke dalam tanah menggunakan *Mariotte bottle*. Pengamatan akar kakao dilakukan secara vertikal maupun horizontal menggunakan bingkai grid dari aluminium berukuran 40 cm x 60 cm dengan skala grid 10 cm x 10 cm. Sampel tanah dan akar di sepanjang dinding profil diambil dengan kotak akar berukuran panjang 10 cm x lebar 10 cm x kedalaman 2 cm yang terbuat dari besi untuk mengukur kerapatan panjang akar (L_{rv}) dan berat kering akar (D_{rv}). Hubungan kerapatan panjang akar dan berat akar terhadap pori makro tanah dianalisis menggunakan persamaan regresi linear sederhana.

Hasil. Jumlah akar berkorelasi linear positif ($r=0.928$) dengan kerapatan panjang akar. Banyaknya akar yang tersebar di dalam tanah berkorelasi kuat ($r=0,696$) dengan ketersediaan pori makro tanah. Kerapatan panjang akar (L_{rv}) dan berat akar tanaman (D_{rv}) juga berkorelasi kuat dengan meningkatnya pori makro tanah, masing-masing dengan nilai $r=0,746$ dan $0,738$. Sebaran akar berkorelasi positif dengan pori makro. **Kesimpulan.** Dalam sistem agroforestri sekalipun, perakaran individu tanaman kakao tetap berkaitan erat dengan sebaran pori makro tanah. Perlu dipelajari kontribusi perakaran masing-masing tanaman dalam sistem agroforestri terhadap makroporositas tanah.

Kata kunci: Agroforestri, perakaran kakao, pori makro tanah, *methylene blue*, Polewali Mandar

ABSTRACT

YUNI ARIANTI Soil Macroporosity and Root Distribution of Cocoa Plants in Cocoa-Based Simple Agroforestry Systems. Supervisor: SIKSTUS GUSLI and SARTIKA LABAN.

Background. Plant roots in agroforestry systems, including cocoa-based agroforestry, are very complex, including its relation to soil macroporosity. Here, soil macroporosity is defined as the presence, distribution, and connectivity of macro pores in the soil. We hypothesize that, in this complex system, cocoa roots contribute to soil macroporosity. **Aim.** We investigated the correlation of cocoa roots distribution and soil macropores in a simple cocoa-based agroforestry system. **Method.** Soil macroporosity was observed using a *methylene blue* solution infiltrated into the soil using a *Mariotte bottle*. Observation of cocoa roots was carried out vertically and horizontally using an aluminum frame 40 cm x 60 cm with 10 cm x 10 cm grid scale. Soil and root samples along the profile wall were taken with a metal root box 10 cm long x 10 cm wide x 2 cm deep to measure root length density (Lrv) and root dry weight (Drv). The correlation between Lrv and Drv on soil macropores was analyzed using a simple linear regression. **Results.** The number of roots has a positive linear correlation ($r=0,928$) with Lrv. The number of roots scattered in the soil was strongly correlated ($r=0,696$) with soil macroporosity. Root length density (Lrv) and plant root weight (Drv) were also strongly correlated with soil macroporosity, with values of $r=0,746$ and $0,738$, respectively. Root distribution was positively correlated with macro pores. **Conclusion.** Even in agroforestry systems, cocoa roots are still closely related to the distribution of soil macropores. Studies on the contribution of each individual crops under agroforestry are necessary.

Keywords: Agroforestry, cocoa roots, soil macropores, methylene blue, Polewali Mandar

PERSANTUNAN

Alhamdulillah rrabil' alamin. Segala puji bagi Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas berkat, rahmat dan segala kuasanya sehingga penyusunan skripsi berjudul "Makroporositas tanah dan sebaran akar tanaman kakao pada sistem agroforestri sederhana dapat penulis tuntaskan. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kehadirat Nabi besar Muhammad SAW beserta para keluarga, sahabat, serta para pengikutnya yang telah berkorban demi menuntun Islam ke masa kejayaannya hingga saat ini.

Penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ayah H. Amiruddin DM, Ibu Hj. Sitti Raja, Kakak-kakak Muh. Faizal, Hj. Marlina, S.Pd, Jamiliani, Jumriani, Dio Alif, ponakan-ponakan, serta seluruh keluarga, atas doa dan harapan yang selalu dilangitkan serta kasih sayang yang selalu tercurahkan tanpa henti. Rasa syukur dan terima kasih penulis haturkan kepada Prof. Dr. Ir. Sikstus Gusli, M.Sc., dan Sartika Laban, S.P, M.P, P.hD selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, memberikan saran-saran dan motivasi yang dibutuhkan dalam pelaksanaan penelitian dan penyelesaian karya tulis ini. Terimakasih juga kepada Ibu Dr. Rismaneswati, S.P, M.P selaku Ketua Departemen Ilmu Tanah dan seluruh dosen Fakultas Pertanian, khususnya dosen dan staf Departemen Ilmu Tanah, untuk ilmu dan pelayanan yang diberikan kepada penulis selama masa perkuliahan di Universitas Hasanuddin. Terima kasih juga kepada kak Jumriani dan keluarga untuk bantuannya selama menuntut ilmu di perantauan. Kepada keluarga Bapak Najma, Ibu Najma, Bapak Aldi, Ibu Aldi, serta Pak Kepala dan keluarga yang telah banyak membantu penulis baik berupa waktu, tenaga dan pengorbanannya yang luar biasa.

Ucapan terima kasih juga kepada rekan sepenelitian Muh Nur Hidayat, Nur Fitriani Ma'mur, Ainun Oktarya, Muh. Aras atas pembelajaran dan kebersamaannya melewati suka maupun duka selama proses penelitian. Kepada tim surveyor Ahmad Muflih Anshary, Muh. Riko, Ahmad Irsan, terimakasih penulis ucapkan atas segala bantuan dan sumbangsuhnya selama proses penelitian dilapangan. Terima kasih juga kepada Muhammad Azkar Fadlan Ma'ruf, Asti Inayah Maghfirah S.Stat, Sri Sumeni S.P., Ainun Wulandari S.P., Anni Nur Rafiqah S.P., Muhammad Fathir, Nur Alim Azis, Muh. Chaeril Restu Fauzi Kalprin, Kadar Wahid, S.P., St. Nur Nur Fanisyah B. Tahir, Khaerunnisa Nasir, S.P., Natasya Apriyanti Sitorus, Baharuddin Azis, S.P, Nurul Asmi, Ahmad Fauzan Adzima S.P, M.Sc., Nurul Fitria S.P., Nur'Aini S.KM, Diana Anggraeni S.S atas bantuannya selama penelitian baik dalam proses analisis di laboratorium, serta bantuan berupa tenaga, motivasi, pembelajaran, serta dukungan selama proses penelitian hingga penyusunan skripsi. Kepada Teman-teman Soil Science 16, BE HIMTI 2019/2020, Anggota Himti Faperta Unhas, Agroteknologi 2016, BPT FMA 2017/2018, KEMA Faperta Unhas, *Team* KKN Aji kuning, dan seluruh pihak yang tak bisa disebutkan namanya satu per satu, terima kasih atas segala doa, kerjasama, bantuan, dan kebersamaannya selama berproses di Universitas Hasanuddin.

Semoga Allah Subhanahu Wa Ta'ala membalas segala kebaikan semua pihak yang terlibat dan mempermudah segala urusan kita dalam kebaikan. *Aamiin Ya rabbal' alamin.*

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
PERSANTUNAN.....	vi
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Tanah dan Sebaran Akar.....	3
2.2 Makroporositas Tanah	3
2.3 Perakaran Kakao.....	4
2.4 Hubungan Akar dan Makroporositas Tanah.....	5
3. METODE PENELITIAN.....	6
3.1 Tempat dan Waktu.....	6
3.2 Alat dan Bahan	6
3.3 Metode dan Tahapan Penelitian	7
3.3.1 Penentuan Plot Pengamatan	7
3.3.2 Pengambilan Sampel Tanah.....	8
3.3.3 Pengamatan Makroporositas Tanah	8
3.3.4 Pemetaan Akar dalam Grid Pengamatan.....	10
3.3.5 Pengambilan Sampel Akar dan Perhitungan Kerapatan Panjang Akar.....	11
3.3.6 Pengukuran Berat Akar	11
3.3.7 Analisis Sifat Tanah	11
3.3.8 Analisis Data	11
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	12
4.1 Hasil.....	12
4.1.1 Karakteristik Sifat Fisik dan Kimia Tanah.....	12

4.1.2	Makroporositas Tanah.....	12
4.1.3	Sebaran Horizontal dan Vertikal Akar Kakao.....	13
4.1.4	Hubungan Sebaran Akar Tanaman Kakao dan Pori Makro Tanah.....	15
4.2	Pembahasan	17
4.2.1	Makroporositas Tanah.....	17
4.2.2	Sebaran Akar Kakao pada Sistem Agroforesti Sederhana	17
4.2.3	Hubungan Sebaran Akar Tanaman Kakao dan Makroporositas Tanah	18
5.	KESIMPULAN	20
	DAFTAR PUSTAKA	21
	LAMPIRAN	27

DAFTAR TABEL

Tabel 3-1. Alat dan bahan yang digunakan dalam pengukuran makroporositas tanah	6
Tabel 3-2. Metode yang digunakan untuk penetapan sifat-sifat tanah	11
Tabel 4-1. Rata-rata bulk density, tekstur, dan C-organik padapertanaman kakao dalam sistem agroforestri sederhana berbasis kakao di Dusun Lemo baru, Kabupaten Polewali mandar	12
Tabel 4-2. Nilai pengukuran akar dan makroporositas tanah pada sistem agroforestri sederhana berbasis kakao di Dusun Lemo, Kabupaten Polewali mandar	15

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3 - 1. Salah satu hamparan kakao pada plot pengamatan	8
Gambar 3 - 2. Pengukuran pori makro menggunakan metode pewarnaan dengan <i>methylene blue</i> .9	
Gambar 3 - 3. Proses menggambar jejak biru dari larutan <i>methylene blue</i> pada plastik <i>overlay</i> ..	10
Gambar 3 - 4. Skema penggunaan grid akar pada proses pemetaan akar	10
Gambar 4 - 1. Sebaran pori makro tanah (berwarna biru) pada sistem agroforestri sederhana berbasis kakao di Dusun Lemo, Kabupaten Polewali mandar	13
Gambar 4 - 2. Sebaran horizontal-vertikal akar kakao pada sistem agroforestri sederhana berbasis kakao di Dusun Lemo baru, Kabupaten Polewali mandar	14
Gambar 4 - 3. Hubungan antara jumlah akar dengan kerapatan panjang akar (Lrv)	15
Gambar 4 - 4. Hubungan antara jumlah akar dengan makroporositas tanah	15
Gambar 4 - 5. Hubungan antara kerapatan panjang akar (LRV) dengan makroporositas tanah....	16
Gambar 4 - 6. Hubungan antara biomassa akar (DRV) dengan makroporositas tanah	16

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Titik Pengamatan	27
Lampiran 2. Vegetasi yang Terdapat pada Titik Pengamatan	28
Lampiran 3. Agregat Permukaan Tanah di Titik Pengamatan	29
Lampiran 4. Pengaplikasian Larutan <i>Methylen Blue</i>	29
Lampiran 5. Pembuatan profil tanah	29
Lampiran 6. Proses Pengamatan Pori Makro Tanah	30
Lampiran 7. Proses Pengamatan Sebaran Akar Tanaman Kakao	30
Lampiran 8. Pengambilan Sampel Akar Kakao	30
Lampiran 9. Proses Analisis Tanah di Laboratorium.....	31
Lampiran 10. Hasil Analisis Sampel Tanah Di Laboratorium.....	33
Lampiran 11. Kenampakan Sebaran Pori Makro (warna biru) pada Penampang Profil Tanah.....	34
Lampiran 12. Hasil Overlay Pori Makro (warna biru) dan Batu (warna hitam) dari Lokasi Pengamatan	35
Lampiran 13. Hasil Overlay Sebaran Akar Tanaman Kakao dari Lokasi Pengamatan	36
Lampiran 14. Hasil Digitasi Pori Makro Tanah dari Lokasi Pengamatan	37
Lampiran 15. Hasil Pengukuran Pori Makro dan Akar Tanaman Kakao dari Lokasi Pengamatata.	38
Lampiran 16. Kriteria Penilaian Hasil Analisis C-Organik	39
Lampiran 17. Klasifikasi Permeabilitas Tanah menurut Umland And O’neal (1951) dalam (Dariah et al., 2004)	39

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem agroforestri merupakan pola pemanfaatan lahan terpadu untuk keperluan kehutanan, tanaman dan peternakan (Schwerz et al., 2019). Dikenal dua sistem agroforestri, yaitu sistem agroforestri kompleks dan agroforestri sederhana. Sistem agroforestri kompleks merupakan suatu sistem pertanian menetap yang melibatkan banyak jenis pohon baik yang ditanam secara sengaja maupun tumbuh alami. Penciri utama agroforestri kompleks adalah kenampakan fisik dan dinamika di dalamnya yang mirip dengan ekosistem hutan. Sistem agroforestri sederhana adalah suatu sistem pertanian dimana pepohonan ditanam secara tumpangsari dengan satu atau lebih jenis tanaman semusim (Mayrowani & Ashari, 2016). Keberagaman jenis tanaman pada sistem agroforestri akan membentuk keberagaman sistem distribusi akar di dalam tanah, yang akan memengaruhi kemampuan tanaman untuk mencukupi kebutuhan hara dan airnya (Nio & Torey, 2013).

Dusun Lemo Baru, Desa Kuajang, Kabupaten Polewali Mandar memiliki hamparan kebun kakao yang dikelola secara tradisional, dengan beberapa model sistem penggunaan lahan seperti monokultur, kebun multistrata (agroforestri kompleks), dan sistem agroforestri sederhana (Riyami 2018). Kakao mendominasi 60% dari kebun yang diteliti dengan umur tanaman 6-10 tahun, selebihnya adalah tanaman gliricidia (16%), lamtoro (10%), langsung (7%), pisang (4%), durian (2%), papaya (1%), dan rambutan (1%).

Pada sistem agroforestri sederhana berbasis kakao, pohon pelindung dapat mengurangi sinar matahari yang masuk ke pohon kakao, sehingga kondisi di bawah kanopi pohon kakao menjadi lebih lembab dan temperatur udara juga lebih rendah. Kondisi ini juga berpengaruh terhadap pertumbuhan akar halus kakao yang sebagian besar terletak di permukaan tanah lapisan atas (Prihastanti et al., 2015). Penelitian yang dilakukan oleh Niether et al., (2019) menunjukkan bahwa tanaman kakao dalam sistem monokultur dan agroforestri memiliki perbedaan kerapatan panjang akar, biomassa akar dan panjang akar spesifik. Hal tersebut menunjukkan bahwa sistem perakaran antar tanaman akan berbeda jika dibudidayakan dalam suatu areal yang berbeda.

Tanaman kakao memiliki sistem perakaran yang dipengaruhi oleh jenis kakao, kondisi lingkungan tumbuh, dan interaksi keduanya (Zakariyya, 2017). Kakao memiliki akar tunggang yang dominan tumbuh secara vertikal dengan sedikit cabang. Jika solum tanahnya dalam dan kondisi lingkungan pertumbuhannya mendukung, akar tunggang dapat tumbuh hingga kedalaman

sekitar 150cm (Nair, 2010). Distribusi akar kakao dapat dicirikan berupa akar lateral yang padat dengan satu akar tunggang yang berfungsi sebagai akar utama (Kummerow et al., 1982).

Tanah dengan kekuatan dan kepadatan yang tinggi akan menghambat pertumbuhan akar (Watson et al., 2014). Sebaliknya, tanah yang memiliki struktur remah akan memudahkan pertumbuhan dan perkembangan akar dalam tanah (Pierret et al., 2007). Lahan agroforestri memiliki nilai permeabilitas, ruang pori total, serta kandungan bahan organik lebih tinggi dibandingkan hutan lahan kering sekunder. Kadar bahan organik yang tinggi mampu menghasilkan *bulk density* yang lebih rendah (Naharuddin et al., 2020), sehingga kemampuan penetrasi akar menjadi lebih maksimal. Pertumbuhan dan perkembangan perakaran tanaman yang menyebar ke dalam lapisan tanah baik secara vertikal maupun horizontal berdampak terhadap pembentukan dan peningkatan makroporositas tanah (Suprayogo et al., 2004). Distribusi pori dalam tanah menggambarkan keadaan struktur tanah, sangat penting artinya bagi tata air dan udara tanah (Utomo et al., 2016). Pengamatan sebaran pori makro tanah salah satunya dapat dilakukan dengan metode pewarnaan (*staining*) menggunakan larutan *methylene blue* yang diinfiltrasikan ke dalam tanah (Hairiah et al., 2004).

Berdasarkan uraian di atas, dapat diketahui bahwa sebaran akar erat kaitannya dengan makroporositas tanah. Disini, makroporositas tanah kami definisikan sebagai keberadaan, sebaran, dan konektivitas pori makro, yaitu pori yang ukurannya $>75 \mu\text{m}$ (Brewer, (Brewer, 1964), sebagaimana terindikasi dari sebaran jejak (*stain*) *methylene blue* di dalam tanah. Proses masuknya akar ke dalam tanah dapat membantu terbentuknya pori makro dalam tanah. Namun, penelitian terkait hubungan distribusi akar kakao dan makroporositas tanah pada sistem agroforestri sederhana berbasis kakao belum mendapatkan perhatian yang cukup.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan mempelajari hubungan distribusi akar kakao dan makroporositas tanah pada sistem agroforestri sederhana berbasis kakao.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah dan Sebaran Akar

Akar memiliki peran penting dalam penyerapan air, oksigen dan hara (Buczko et al., 2009). Distribusi akar pada tiap tanaman bervariasi, sehingga akan memengaruhi kemampuan tanaman untuk mencukupi kebutuhan airnya (Nio & Torey, 2013). Pada saat kekurangan air, akar akan tumbuh lebih panjang, menyebar atau memperluas sistem perakaran ke jarak yang lebih jauh untuk memperoleh suplai air, karbon dan nutrisi yang dibutuhkan (Clemmensen et al., 2015; Pierret et al., 2007), serta sebagai pintu masuk air dan oksigen untuk proses fisiologi tanaman (Ayi et al., 2016). Perkembangan akar dan distribusinya di dalam tanah sangat penting untuk memahami fungsi tanaman dan responsnya terhadap kondisi lingkungan (Pagès et al., 2020).

Pertumbuhan dan pergerakan akar sangat dipengaruhi oleh keadaan fisik tanah dan spesies tanaman (LN et al., 2013; Watson et al., 2014). Agroforestri merupakan bentuk pengelolaan lahan yang dapat ditawarkan untuk memperbaiki sifat fisik tanah (Kurniawan, 2018). Perakaran tanaman akan memantapkan agregat tanah serta memperbesar porositas tanah disekitarnya. Perakaran dapat menembus lapisan tanah dan menghasilkan eksudat yang menjadi perekat antar tanah dan membentuk ikatan antar butir tanah yang akan membentuk struktur tanah (Waluyaningsih, 2008). Banyaknya perakaran dapat meningkatkan granulasi dan aktivitas mikroorganisme sehingga meningkatkan porositas tanah dan kestabilan struktur tanah (Hidmatulloh, 2016).

2.2 Makroporositas Tanah

Pori makro tanah merupakan ruang yang terbentuk pada tanah yang diakibatkan dari pemadatan matriks tanah, fauna tanah, dan aktivitas perakaran (Rivenshield & Bassuk, 2007). Pori makro tanah sangat berperan dalam menentukan kandungan dan proses pertukaran air dan udara di dalam tanah (Baver et al. 1972; Buckman and Brady 1982; Nita et al., 2015). Selain itu, Pori-pori makro di lapisan bawah tanah tampaknya memfasilitasi penyerapan hara dari tanah lapisan atas, sehingga memberikan dampak yang besar terhadap kinerja tanaman (Bauke et al., 2017).

Salah satu faktor yang mampu meningkatkan makroporositas tanah adalah serasah tanaman (Centeno et al., 2020). Bahan organik di dalam tanah memengaruhi karakter tanah, misalnya struktur dan sebaran pori di dalam tanah (Daynes et al., 2013). Tanah-tanah yang mempunyai agregat mantap, struktur baik, dan ruang pori yang mantap menjamin lalu lintas air tetap lancar tanpa terganggu oleh hancuran massa tanah ketika kandungan air tanah meningkat (Supangat & Putra, 2010).

Aliran air melalui sistem pori-pori besar memungkinkan kecepatan aliran menjadi cepat dan melewati zona tak jenuh didefinisikan sebagai *Bypass flow* (Beven & Germann, 1982). Menurut Droogers et al., (1998), Banyak teknik yang tersedia untuk mengamati makroporositas tanah seperti metode *scanning*, *tracer experiments*, dan *dye staining*. Teknik *dye staining* merupakan metode terkomposisi dengan metode pengolahan gambar digital serta memiliki banyak keuntungan. Metode ini relatif cepat dan biaya yang lebih sedikit dibanding metode lainnya, dan juga merupakan metode yang cukup mudah untuk dilakukan. Pengukuran dengan *dye staining* dapat dengan mudah dilakukan secara langsung di lapangan, tanpa perlu mengambil sampel untuk analisis laboratorium. Pori makro yang diamati dari teknik *dye staining* tidak termasuk semua pori makro tetapi juga mengidentifikasi pori-pori yang terhubung dengan permukaan infiltrasi: pori-pori yang berkesinambungan. Hal ini sangat relevan ke aliran yang dilewati (*bypass flow*)

2.3 Perakaran Kakao

Pada umumnya karakter tanaman kakao sangat ditentukan oleh faktor lingkungan, jenis tanaman kakao, dan interaksi diantara keduanya. Akar tanaman kakao dibedakan atas akar primer dan akar lateral. Akar primer disebut juga dengan akar tunggang atau *radix primaria*. Akar lateral dibagi atas akar lateral halus (*fine root*) yang mempunyai diameter < 2 mm, berfungsi menyerap air, dan akar lateral besar (*coarse root*) yang berdiameter >2 mm. Akar tunggang berguna untuk menopang tegaknya tanaman dan memiliki distribusi horizontal (Zuidema et al., 2005), sedangkan akar lateral berperan dalam penyerapan air dan hara dari dalam tanah (Prihastanti et al., 2015). Selain untuk menopang tanaman, akar utama juga bermanfaat untuk mengambil air dan mineral pada periode kering (Kummerow et al., 1982).

Perkembangan akar kakao sangat dipengaruhi oleh struktur tanah (Maghfiroh & Putra, 2020) dan ketersediaan air dan udara di dalam tanah (Carr & Lockwood, 2011). Jika aerasi dan struktur tanah sesuai, maka pertumbuhan akar menjadi tidak terbatas. Namun, apabila struktur tanah tidak sesuai maka pertumbuhan akar tanaman menjadi terhambat (Alaoui et al., 2011). Meskipun kakao dianggap memiliki sistem perakaran yang dangkal, namun akar kakao dapat tumbuh mencapai kedalaman 150 - 200 cm. Akar kakao dapat memanjang ke samping hingga lebih dari 5 m, tetapi sebagian besar berada dalam jarak 50 cm dari batang (Carr & Lockwood, 2011). Sebagian besar (86 %) akar tumbuh pada lapisan tanah atas yaitu pada kedalaman 0–30 cm (Taufiq & Purwono, 2020) sekitar 14 % pada bagian yang lebih dalam (21 – 30 cm), dan hanya 4 % tumbuh pada