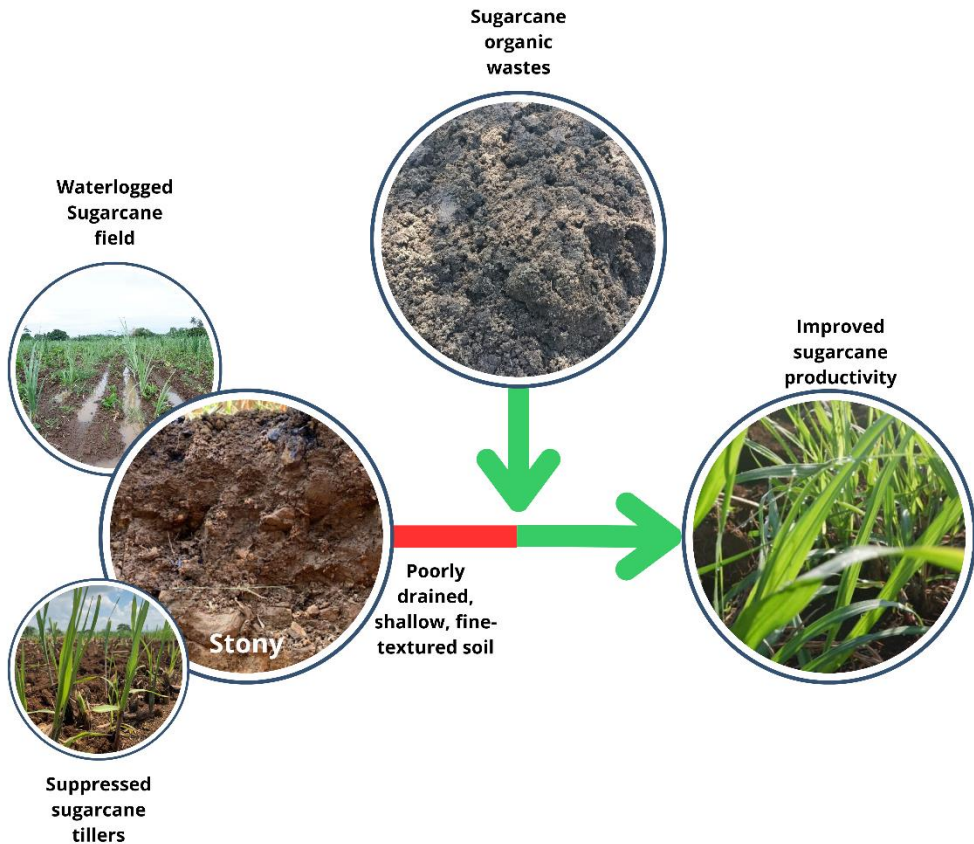


DISERTASI

APLIKASI LIMBAH ORGANIK PABRIK GULA PADA TANAH BERDRAINASE BURUK DI TAKALAR MENINGKATKAN PRODUKTIVITAS TEBU

APPLYING SUGARCANE WASTES ON POORLY DRAINED SOIL IN TAKALAR IMPROVED SUGARCANE PRODUCTIVITY



WINA SAFITRI
P013201019



PROGRAM STUDI ILMU PERTANIAN
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024

**APLIKASI LIMBAH ORGANIK PABRIK GULA PADA TANAH BERDRAINASE
BURUK DI TAKALAR MENINGKATKAN PRODUKTIVITAS TEBU**

WINA SAFITRI

P013201019



PROGRAM STUDI ILMU PERTANIAN

SEKOLAH PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024


DISERTASI

**APLIKASI LIMBAH ORGANIK PABRIK GULA PADA TANAH BERDRAINASE
BURUK DI TAKALAR MENINGKATKAN PRODUKTIVITAS TEBU**

**WINA SAFITRI
P013201019**

Program Studi Ilmu Pertanian
Sekolah Pascasarjana
Universitas Hasanuddin
Makassar


Mengesahkan:
Promotor


Prof. Dr. Ir. Ambo Ala, MS
NIP. 19541231 198102 1 006

Ko-promotor,


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

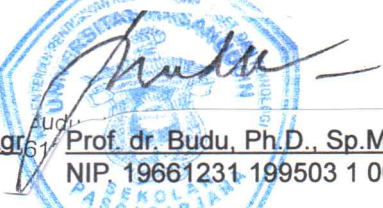
Ko-promotor,

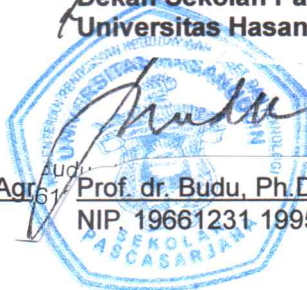

Dr. Ir. Iqbal, STP, M.Si., IPM
NIP. 19781225 200212 1 001

Ketua Program Studi


Prof. Dr. Ir. Baha'uddin, Dipl. Ing. Agr
NIP. 19602412 198601 1 001

**Dekan Sekolah Pascasarjana
Universitas Hasanuddin,**


Prof. dr. Budu, Ph.D., Sp.M (K)., M.MedEd
NIP. 19661231 199503 1 009



PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, disertasi berjudul **Perbaikan Produktivitas Tebu pada Tanah Berdrainase Buruk di Takalar Melalui Aplikasi Limbah Organik Pabrik Gula** adalah benar karya saya dengan arahan dari tim pembimbing Prof. Dr. Ir. Ambo Ala, MS sebagai Promotor, Prof. Dr. Ir. Sikstus Gusli, M.Sc sebagai co-promotor-1, dan Dr. Ir. Iqbal, STP, M.Si., IPM sebagai co-promotor-2. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka disertasi ini.

Sebagian dari isi disertasi ini telah dipublikasikan. Bab 2 dipublikasikan sebagai prosiding pada *UICAT The 1st Unhas International Conference on Agricultural Technology* dengan judul "Comparison of Soil Compaction in Bed Areas and Tractor Wheel Tracks in Sugarcane Plantation at Takalar Sugar Factory", dan di Conference Paper *FSSAT The 4th International Conference Food Security and Sustainable Agriculture in The Tropics* dengan judul "Sugarcane Growth Variation Based on Rainfall and Soil Permeability in Takalar, Indonesia"; Bab 3 dipublikasikan pada *Journal Soil Science Annual* 75(1):184160 sebagai artikel dengan judul "Linking marginal soil to sugarcane productivity in Takalar, Indonesia"; Bab 4 dipublikasikan pada *Journal of Degraded and Mining Lands Management* 11(4):6175-6184 sebagai artikel dengan judul "Implication of the root growth and soil macropores distribution on sugarcane yield in Takalar, Indonesia"; serta Bab 5 dipublikasikan pada *Journal of Degraded and Mining Lands Management* Vol. 12, No.1 (1 October 2024) "sebagai artikel dengan judul "Improving sugarcane productivity on marginal soil in Takalar, Indonesia, through the application of sugarcane factory waste".

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa, sebagian atau keseluruhan disertasi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa disertasi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 4 Desember 2024





WINA SAFITRI
P013201019

ABSTRAK

WINA SAFITRI. **Perbaikan Produktivitas Tebu pada Tanah Berdrainase Buruk di Pabrik Gula Takalar melalui Aplikasi Limbah Organik Pabrik** (dibimbing oleh Ambo Ala, Sikstus Gusli, dan Iqbal Salim).

Latar belakang. Drainase buruk pada lahan bertekstur halus dan tanah dangkal menentukan karakteristik keairan tanah, faktor kunci yang menunjang pertumbuhan tanaman, termasuk tebu. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan mempelajari rekayasa kondisi fisik tanah berdrainase buruk melalui aplikasi limbah organik pabrik gula berupa abu ketel dan blotong, untuk peningkatan produktivitas tebu. **Metode.** Penelitian ini terdiri atas tiga tahap. Tahap pertama difokuskan untuk mempelajari karakteristik tanah dan produktivitas tebu di lokasi penelitian. Tahap kedua difokuskan pada investigasi sebaran akar dan distribusi makropori tanah berdrainase buruk, dihubungkan dengan produktivitas tebu. Tahap ketiga fokus pada penambahan abu ketel dan blotong sebagai amandemen tanah berdrainase buruk, pengaruhnya terhadap peningkatan produktivitas tebu. **Hasil.** Tanah di lokasi penelitian merupakan lahan berdrainase buruk dengan permeabilitas lambat ($<2 \text{ cm jam}^{-1}$) meskipun dengan kerapatan isi yang rendah, C-organik rendah ($<2\%$), dan produktivitas tebu rendah hanya $35,88 \text{ ton ha}^{-1}$. Data neraca air menunjukkan terjadi surplus air pada saat tebu memasuki fase perkecambahan dan pertunasan, tanah dangkal ($<40 \text{ cm}$) tidak mampu menampung curah hujan sehingga pertumbuhan tunas terganggu. Jejak makropori yang saling terkoneksi hanya sampai pada kedalaman kurang dari 10 cm . Kerapatan panjang akar yang hanya mencapai $0,05 \text{ cm cm}^{-3}$ pada kedalaman 30 cm menunjukkan adanya keterbatasan pertumbuhan akar, tidak ditemukan akar pada kedalaman lebih dari 40 cm . Aplikasi abu ketel dan blotong khususnya dengan perbandingan abu ketel 20 ton ha^{-1} dan blotong 10 ton ha^{-1} dapat memperbaiki permeabilitas tanah dan dapat meningkatkan pertumbuhan tebu khususnya jumlah anakan, tinggi, dan diameter batang. Produktivitas meningkat dari $35,88$ menjadi $58,02 \text{ ton ha}^{-1}$. **Kesimpulan.** Penambahan abu ketel dan blotong dengan perbandingan $2:1$ dapat meningkatkan produktivitas tebu pada lahan marginal berdrainase buruk sebesar 20% . Penelitian ini memberikan wawasan praktis untuk meningkatkan produktivitas pertanian khususnya di perkebunan tebu. Porsi abu ketel dan blotong lainnya tidak memberikan pengaruh yang menguntungkan bagi produktivitas tebu.

Kata kunci: Abu ketel, blotong, pertumbuhan akar, produktivitas tebu, neraca air, retensi air.



 GUGUS PENJAMINAN MUTU (GPM) SEKOLAH PASCASARJANA UNHAS	
Abstrak ini telah diperiksa.	Paraf Ketua / Sekretaris.
Tanggal : _____	

ABSTRACT

WINA SAFITRI. **Improvement of Sugarcane Productivity on Poorly Drained Soil at Takalar Sugar Factory through Application of Factory Organic Waste** (supervised by Ambo Ala, Sikstus Gusli, dan Iqbal Salim).

Background. Poor drainage on fine-textured and shallow soils determined the water characteristics of the soil, a key factor supporting crop growth, including sugarcane. **Aim.** This study aims to investigate improving the physical conditions of poorly drained soil by applying organic waste from sugar factories, namely boiler ash and filter cake, to increase sugarcane productivity. **Methods.** This research consisted of three stages. The first stage focused on studying the characteristics of soil and sugarcane productivity at the research location. The second stage investigated the distribution of roots and macropores in poorly drained soil in relation to sugarcane productivity. The third stage examined the application of boiler ash and filter cake as amendments to poorly drained soil and their effect on increasing sugarcane productivity. **Results.** The soil at the research location was poorly drained with slow permeability ($<2 \text{ cm hour}^{-1}$) despite having low bulk density, low organic carbon content ($<2\%$), and low sugarcane productivity, only $35.88 \text{ tons ha}^{-1}$. Water balance data showed a surplus during the sugarcane germination and budding phase. The shallow soil ($<40 \text{ cm}$) could not accommodate rainfall, reducing shoot growth. Interconnected macropores only reached a depth of less than 10 cm . The root length density of only 0.05 cm cm^{-3} at a depth of 30 cm indicates limited root growth, with no roots found at depths greater than 40 cm . Applying boiler ash and filter cake, especially at a ratio of 20 tons ha^{-1} of boiler ash to 10 tons ha^{-1} of filter cake, could improve soil permeability and increase sugarcane growth, particularly in the number of tillers, stem height and diameter. Productivity increased from 35.88 to $58.02 \text{ tons ha}^{-1}$. **Conclusion.** Applying boiler ash and filter cake at a ratio of 2:1 could increase sugarcane productivity on marginal land with poor drainage by 20%. This research provides practical insights for improving agricultural productivity in sugarcane plantations. Other ratios of boiler ash and filter cake did not lead to a beneficial effect on sugarcane productivity.

Keywords: Boiler ash, root growth, sugarcane pressed mud, sugarcane productivity, water balance, water retention.

 GUGUS PENJAMINAN MUTU (GPM) SEKOLAH PASCASARJANA UNHAS	
Abstrak ini telah diperiksa.	Paraf Ketua / Sekretaris.
Tanggal : _____	

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
BAB I PENDAHULUAN UMUM	1
Rumusan Masalah.....	4
Tujuan Penelitian	4
Kegunaan Penelitian	4
Ruang Lingkup Penelitian	4
Kebaruan (Novelty)	4
BAB II KONDISI TANAH, NERACA, DAN RETENSI AIR DI TAKALAR	5
Abstrak.....	5
2.1. Pendahuluan	5
2.2. Metode Penelitian.....	6
2.3. Hasil	9
2.4. Pembahasan.....	13
2.5. Kesimpulan	14
Daftar Pustaka.....	14
BAB III MENGHUBUNGKAN TANAH MARGINAL DENGAN PRODUKTIVITAS TEBU DI TAKALAR	17
Abstrak.....	17
3.1. Pendahuluan	17
3.2. Metode Penelitian.....	19
3.3. Hasil	22
3.4. Pembahasan.....	28
3.5. Kesimpulan	30
Daftar Pustaka.....	30

BAB IV IMPLIKASI PERTUMBUHAN AKAR DENGAN DISTRIBUSI MAKROPORI TANAH TERHADAP HASIL TEBU DI TAKALAR	34
Abstrak.....	34
4.1. Pendahuluan	34
4.2. Metode Penelitian.....	35
4.3. Hasil	39
4.5. Pembahasan.....	45
4.6. Kesimpulan	47
BAB V PERAN AMPAS TEBU MENINGKATKAN PRODUKTIVITAS PADA TANAH MARGINAL DI TAKALAR.....	52
Abstrak.....	52
5.1. Pendahuluan	52
5.2. Metode Penelitian.....	53
5.3. Hasil.....	56
5.4. Pembahasan.....	61
5.6. Kesimpulan	64
Daftar Pustaka.....	64
BAB VI PEMBAHASAN UMUM.....	69
LAMPIRAN.....	73

BAB I

PENDAHULUAN UMUM

Drainase buruk, terutama pada tanah bertekstur halus dan dangkal, memengaruhi ketersediaan air tanah (de Lira et al., 2018; Kapanigowda et al., 2010), sehingga dapat menekan pertumbuhan tanaman, termasuk tebu (Awe et al., 2020; Rosidah et al., 2023; Saravanakumar, 2020). Akumulasi air yang berlebihan di tanah dapat menyebabkan genangan air (Misra et al., 2020; N. Nugroho et al., 2021) yang menghambat perkembangan akar dan menyulitkan penyerapan nutrisi oleh tanaman (Abiven et al., 2009; Pollacco et al., 2020). Akibatnya, penurunan hasil panen sering kali tak terelakkan (Awe et al., 2020; Filho et al., 2024; Paulino A. Oñal, Jr. et al., 2022). Bahkan, genangan air yang berkepanjangan juga dapat meningkatkan salinitas tanah (Hamzeh et al., 2013; Morais et al., 2022), sehingga menambah cekaman pada tanaman dan mengurangi produktivitas pertanian secara keseluruhan (Boonwichai et al., 2018; Hamzeh et al., 2013; Misra et al., 2020). Karena itu, memahami hubungan antara kondisi drainase tanah dan pertumbuhan tanaman adalah langkah penting dalam pengembangan praktik pertanian yang efektif, termasuk di wilayah di mana tebu menjadi tanaman utama.

Hubungan antara genangan air dan pertumbuhan akar tebu bersifat kompleks (da Luz et al., 2020; Suzuki et al., 2010), melibatkan respons fisiologis, morfologis, dan biokimia yang sangat penting bagi kelangsungan hidup dan produktivitas tanaman dalam kondisi tanah jenuh (Sanghera et al., 2019). Ketika akar terendam dalam air berlebih, maka terjadi kekurangan oksigen yang penting untuk proses respirasi (Bengough et al., 2011; Grant, 2012). Genangan air menyebabkan hipoksia, yang memicu peralihan metabolisme pernapasan dari jalur aerobik ke anaerobik, sehingga memengaruhi aktivitas akar dan kesehatan tanaman (Singh et al., 2019; Jaiphong et al., 2017). Tanpa oksigen yang memadai, akar tebu akan mengalami kerusakan, yang akhirnya mengganggu seluruh sistem pertumbuhan, berkurangnya penyerapan nutrisi, dan efisiensi fotosintesis, yang pada akhirnya menyebabkan penurunan berat tebu (Singh et al., 2023; Nisha, 2023). Genangan air dapat menyebabkan penurunan yang signifikan pada berat kering akar, dengan penurunan yang diamati hingga 44% pada kultivar tebu tertentu dalam kondisi tergenang (Jaiphong et al., 2017).

Selain drainase buruk, tanah yang dangkal juga memengaruhi perkembangan akar dan keberadaan makropori tanah. Pori makro memfasilitasi pergerakan udara dan air (Wang, 2024; Colombi et al., 2017). Di tanah dangkal, keberadaan makropori bermanfaat, misalnya membantu pertumbuhan akar tanaman untuk mengakses kelembaban dan nutrisi yang penting untuk pertumbuhan optimal (Souza et al., 2015; Li et al., 2019). Moraes et al. (2019) mencatat bahwa akar tebu sebagian besar terkonsentrasi di kedalaman 0,5 meter bagian atas tanah, lapisan tanah yang paling subur. Sejalan dengan itu, Souza et al. (2014) menemukan bahwa, konsentrasi akar tebu menurun seiring dengan kedalaman, yang menunjukkan bahwa konsentrasi akar terletak di lapisan atas tempat dimana makropori dominan ditemukan untuk

memfasilitasi pergerakan air. Ketika makropori ini menjadi jenuh, kemampuannya untuk mengangkut udara dan air berkurang. Berbarengan dengan itu, Hu et al. (2022) melaporkan bahwa akar tanaman juga dapat meningkatkan porositas tanah dan menciptakan jalur aliran makropori, hal penting untuk menjaga aerasi tanah. Namun, dalam kondisi tergenang air, jalur ini menjadi tidak efektif, sehingga menyebabkan akar mati dan pertumbuhan terhambat (Mason et al., 2022). Penelitian oleh Hu et al. (2022) juga menunjukkan bahwa meskipun makropori dapat memfasilitasi pertumbuhan akar dalam kondisi optimal, fungsinya sangat terganggu di tanah yang tidak memiliki drainase yang baik. Penelitian terdahulu (Bottinelli et al., 2014) mengungkapkan bahwa regenerasi makropori hanya terjadi pada kedalaman 0-7 cm di lapisan permukaan tanah, sementara lapisan tanah di bawahnya bisa mengalami pemadatan yang signifikan.

Tanah pada lokasi penelitian di Takalar bertekstur halus dengan kedalaman dangkal yang mengakibatkan drainase buruk menjadi tantangan bagi usaha meningkatkan produktivitas tebu di Takalar yang dikelola oleh Pabrik Gula. Kondisi genangan yang sering terjadi di area pertanian tebu Takalar juga menyebabkan masalah serius bagi para petani, termasuk terjadinya pembusukan tunas tebu yang baru tumbuh. Hal serupa juga dilaporkan oleh Lisboa et al. (2018) di Bom Retiro, Brazil. Genangan permukaan yang terjadi setelah curah hujan tinggi memicu pembusukan tunas tebu, sehingga petani terpaksa melakukan penyulaman hingga berulang selama masa pertumbuhan tebu. Namun, hingga saat ini, belum ada penelitian spesifik yang dilakukan untuk mengidentifikasi penyebab utama dan bagaimana mengatasi genangan air yang berdampak buruk pada perkembangan tunas tebu dan menurunkan produktivitas tebu di Takalar.

Dalam upaya mengatasi tantangan yang disebabkan oleh tanah dengan drainase buruk tersebut, penelitian ini dirancang untuk menyelidiki penggunaan limbah organik dari Pabrik Gula, yaitu abu ketel dan blotong, sebagai alternatif untuk memperbaiki kondisi fisik tanah (Dotaniya et al., 2016). Penerapan bahan organik sebagai amandemen tanah telah dikenal luas karena kemampuannya dalam memperbaiki struktur tanah, meningkatkan porositas, dan kapasitas retensi air tanah (Abro et al., 2021). Karena itu, penggunaan ampas tebu sebagai bahan pembenah tanah menjadi krusial dalam upaya meningkatkan struktur dan kualitas tanah (Singh et al., 2021). Penggunaan bahan ini dapat membantu memperbaiki porositas tanah dan memperlancar infiltrasi air ke dalam tanah (Franzluebbers, 2002), sehingga mengurangi risiko genangan air (Misra et al., 2020), terutama selama musim hujan yang sering kali menyebabkan akar tanaman membusuk akibat kondisi air yang tidak terserap dengan baik.

Selain itu, abu ketel kaya akan kalium dan nutrisi penting lainnya (Ferreira et al., 2012; Jala & Goyal, 2006). Aplikasinya ke tanah telah dikaitkan dengan peningkatan ketersediaan nutrisi dan peningkatan sifat fisik tanah (Rasa et al., 2018). Studi menunjukkan bahwa penambahan abu ketel dapat meningkatkan pH tanah dan konduktivitas hidrolik (Wang et al., 2023), yang dapat bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman di tanah berdrainase buruk (Fortes et al., 2013). Lebih jauh, kandungan mineral dalam abu ketel dapat membantu mengurangi pengaruh buruk salinitas

tanah (de Lira et al., 2018; Hamzeh et al., 2013), mendorong perkembangan akar dan penyerapan air yang lebih baik pada tebu dan tanaman lainnya (Ferreira et al., 2015). Disisi lain, blotong juga merupakan limbah organik pabrik gula dengan kandungan nutrisi yang tinggi, termasuk kalsium, nitrogen, dan fosfor (Ahmed et al., 2023). Aplikasi blotong telah terbukti memperbaiki struktur tanah dengan meningkatkan agregasi dan porositas (Abubakar et al., 2022; Utami et al., 2021), yang sangat penting untuk infiltrasi air dan aerasi di tanah yang drainasenya buruk (Carmo et al., 2012). Selain itu, blotong berfungsi sebagai amelioran tanah yang sangat baik, mendorong aktivitas mikroba dan meningkatkan kapasitas tanah untuk mempertahankan kelembapan dan nutrisi (Niu et al., 2021). Karena itu, penggabungan limbah organik pabrik gula, khususnya abu ketel dan blotong, pada tanah berdrainase buruk sangat penting untuk memperbaiki struktur tanah, membantu mengurangi genangan air dan meningkatkan pertumbuhan akar (Fleishman et al., 2021; Valim et al., 2016). Dengan demikian, pemanfaatan produk sampingan pertanian seperti abu ketel dan blotong mendukung praktik pertanian berkelanjutan yang bertujuan untuk mengurangi limbah serta meningkatkan kesuburan tanah (Rawat et al., 2021).

Penelitian ini hadir untuk menjawab permasalahan produktivitas tebu yang rendah di lahan Pabrik Gula Takalar dengan tujuan utama mengevaluasi efektivitas penggunaan abu ketel dan blotong dalam memperbaiki kondisi fisik tanah yang mengalami masalah drainase buruk. Selain itu, penelitian ini juga bermanfaat untuk menilai seberapa jauh bahan organik yang tersedia secara insitu di Pabrik Gula Takalar bisa dimanfaatkan untuk meningkatkan produktivitas tanaman.

Penelitian ini terdiri atas tiga tahap. Tahap pertama diuraikan pada Bab 2 yang berfokus untuk mengetahui kondisi tanah, neraca, dan retensi air pada lokasi penelitian, dan pada Bab 3 membahas mengenai hubungan tanah marginal dengan produktivitas tebu di lokasi penelitian; tahap kedua diuraikan pada Bab 4 yaitu implikasi pertumbuhan akar dengan distribusi makropori tanah terhadap hasil tebu di Takalar; dan tahap ketiga diuraikan pada Bab 5 yaitu peran ampas tebu dalam meningkatkan produktivitas tanaman pada lahan berdrainase buruk di Takalar.

Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana dampak penggunaan alat mekanisasi pertanian pada kondisi tanah PG Takalar;
2. Bagaimana pengaruh neraca dan retensi air pada pertumbuhan tunas tebu; dan
3. Bagaimana pengaruh perbaikan neraca dan retensi air tanah terhadap rendemen yang dihasilkan.

Tujuan Penelitian

Tujuan umum penelitian ini adalah mempelajari rekayasa kondisi fisik tanah untuk memperbaiki neraca dan retensi air tanah guna mendukung pertumbuhan tanaman.

Tujuan khusus dari penelitian ini adalah:

- a) mempelajari dampak penggunaan alat mekanisasi pertanian terhadap neraca dan retensi air tanah pada lahan tebu Takalar; dan
- b) mempelajari dampak neraca dan retensi air terhadap pertumbuhan tunas tebu.

Kegunaan Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian tersebut maka diharapkan dapat memperoleh manfaat yaitu perbaikan neraca dan retensi air sehingga produktivitas tebu menjadi optimal.

Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi tiga tahapan yaitu:

- a) Tahun pertama: difokuskan pada kuantifikasi pengaruh neraca air teinduksi oleh pengolahan tanah sebagai penentu pertunasan *plant cane*;
- b) Tahun kedua: penelitian diarahkan untuk mempelajari peran retensi air tanah sebagai penginduksi pertunasan tebu *ratoon*; dan
- c) Tahun ketiga: pengaruh perbaikan neraca dan retensi air tanah terhadap rendemen gula yang dihasilkan

Kebaruan (Novelty)

Kebaruan penelitian ini, yaitu berfokus pada pengaruh neraca dan retensi air pada pertumbuhan tunas tebu yang belum pernah dilakukan penelitian sebelumnya terkait hal ini.

BAB II

KONDISI TANAH, NERACA, DAN RETENSI AIR DI TAKALAR

Abstrak

Fase perkecambahan dan pertunasan tebu merupakan periode kritis yang menentukan produktivitas. Fase ini terjadi pada saat tanaman tebu berumur 1 hingga 3 bulan dan memerlukan persediaan air yang cukup untuk menunjang pembentukan tunas. Kondisi tanah yang buruk dan curah hujan yang tinggi dapat menyebabkan kegagalan pembentukan tunas. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari hubungan curah hujan dengan permeabilitas tanah dalam keberhasilan pembentukan tunas tebu. Kami membagi lahan penelitian seluas 1 ha menjadi sembilan titik (A, B, C, D, E, F, G, H, I) untuk mengamati pertumbuhan tanaman dan permeabilitas tanah. Faktor pertumbuhan yang diukur meliputi jumlah batang, diameter, dan tinggi tanaman yang diukur secara zig-zag pada setiap plot pengamatan. Contoh tanah utuh pada kedalaman 0-15 cm kemudian dianalisis di laboratorium menggunakan hukum Darcy untuk mengetahui nilai permeabilitas tanah. Hasil penelitian menunjukkan adanya variasi pertumbuhan tebu pada sembilan plot penelitian. Rata-rata jumlah batang tebu hanya sekitar 8 batang setiap meter dengan tinggi 159 cm dan diameter batang kurang dari 3 cm. Nilai permeabilitas yang rendah sekitar 0,13-0,5 cm jam⁻¹ mengakibatkan tanah tidak dapat mengimbangi rata-rata curah hujan pada fase pertunasan, sehingga menekan pertumbuhan tanaman hingga 50% dari rata-rata produktivitas yang seharusnya.

2.1. Pendahuluan

Hubungan antara keseimbangan air tanah dan retensi air merupakan hal mendasar dalam memahami dinamika pergerakan air dalam sistem tanah (Porporato et al., 2004; Tuller & Or, 2004). Keseimbangan air tanah mengacu pada keseimbangan antara masukan dan keluaran air di dalam tanah, yang mencakup proses seperti curah hujan, evapotranspirasi, limpasan, dan penyimpanan air tanah (Manuela Portela et al., 2020). Keseimbangan ini penting untuk menilai ketersediaan air untuk pertumbuhan tanaman, pengisian ulang air tanah, dan kesehatan ekosistem secara keseluruhan. Di sisi lain, retensi air dalam tanah mengacu pada kemampuan tanah untuk menahan air melawan gaya gravitasi, dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti tekstur tanah, struktur, dan kandungan bahan organik (Rawls et al., 2003).

Metode Thornthwaite dan Mather, sebuah pendekatan yang banyak digunakan dalam hidrologi dan klimatologi, memainkan peran penting dalam mengukur hubungan antara keseimbangan air tanah dan retensi air (Westenbroek et al., 2010). Metode ini memungkinkan estimasi komponen neraca air berdasarkan data iklim, memberikan wawasan mengenai ketersediaan dan pergerakan air dalam sistem tanah (A. R. Nugroho et al., 2019; Westenbroek et al., 2010). Dengan memasukkan parameter seperti curah hujan, evapotranspirasi, dan penyimpanan air tanah, metode Thornthwaite dan Mather memberikan penilaian defisit, surplus, dan variabilitas air secara keseluruhan di suatu wilayah (Manuela Portela et al., 2020; A. R. Nugroho et al., 2019). Selain itu, penelitian telah menunjukkan bahwa sifat-sifat

tanah, seperti tekstur tanah dan kandungan bahan organik, memengaruhi karakteristik retensi air, sehingga berdampak pada keseimbangan air tanah (D. Wang et al., 2019). Kurva retensi air, yang menggambarkan hubungan antara kandungan air tanah dan potensi air tanah, penting untuk memahami bagaimana air ditahan dan dilepaskan dalam matriks tanah (Hayashi et al., 2009). Perubahan sifat retensi air tanah dapat memengaruhi ketersediaan air bagi tanaman, pengisian ulang air tanah, dan dinamika keseimbangan air secara keseluruhan (Pollacco et al., 2020).

Necara dan retensi air tanah menjelaskan hubungan yang sangat rumit mengenai dinamika air dalam tanah. Studi sebelumnya oleh Sabaruddin et al., (2021) telah menganalisis kontribusi air permukaan terhadap kadar air tanah pada zona perakaran. Wang et al. (2019) telah mengeksplorasi respon penggunaan biochar dan perubahan penggunaan lahan terhadap retensi air tanah. Penelitian lainnya oleh Page et al. (2019) juga melaporkan mengenai efek pengolahan tanah terhadap retensi air tanah. Hasil penelitian mengenai neraca dan retensi air tanah menggarisbawahi pentingnya mempertimbangkan kondisi lahan, sifat hidrolik tanah, penggunaan lahan, dan teknik pengolahan tanah. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang mengaitkan neraca dan retensi air pada lokasi penelitian untuk mengetahui kondisi tanah di Takalar sebagai acuan penelitian selanjutnya untuk mengatasi permasalahan lahan yang ada.

2.2. Metode Penelitian

2.2.1. Lokasi penelitian

Penelitian dilaksanakan di perkebunan tebu Kabupaten Takalar, Indonesia pada bulan November 2020 hingga Oktober 2021. Penelitian ini terbagi menjadi dua bagian yaitu pengumpulan data iklim dan data di lapangan.

2.2.2. Pengumpulan data iklim

Identifikasi lahan berdasarkan data informasi iklim yang diperoleh dari stasiun Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Pompengan Baddoka, dan stasiun curah hujan Pabrik Gula Takalar.

2.2.3. Pengumpulan data lapangan

Lahan seluas 1 ha dibagi menjadi sembilan petak pengamatan untuk mengetahui karakteristik tanah pada lokasi penelitian. Sampel tanah utuh di lapangan dikumpulkan dari sembilan titik pengamatan pada saat tebu berumur empat bulan untuk menghindari kerusakan tanaman pada saat penggalian tanah. Alat yang digunakan yaitu ring sampel dengan diameter dalam 70 mm dan tinggi 50 mm. Sampel tanah yang diperoleh kemudian di analisis di Laboratorium Ilmu Tanah Universitas Hasanuddin untuk mengetahui nilai permeabilitas, kadar air, dan Kerapatan isi tanah.

2.2.4. Analisis data neraca air

Analisis neraca air tanah menggunakan model Thornthwaite and Mather (1957) dengan rumus empiris (Tatas et al., 2015). Nilai surplus (S) atau kelebihan lembab tanah yang terjadi dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$S = (P - ETp) - \Delta ST \quad (1)$$

Di mana :

- S : surplus/kelebihan (mm/bulan)
- P : curah hujan (mm/bulan)
- ETp : evapotranspirasi potensial (mm/bulan)
- ΔST : perubahan kelengasan tanah (mm)

Untuk mengetahui nilai dari evapotranspirasi potensial (ETp), dan perubahan kelengasan tanah (ΔST) menggunakan persamaan dari *Thornthwaite-Mather* sebagai berikut:

$$ETp = f \cdot ETx \quad (2)$$

Di mana :

- f : faktor koreksi berdasarkan letak lintang (lampiran 1)
- ETx : Evapotranspirasi potensial untuk garis lintang 0° dan belum dikoreksi

Akibat perbedaan posisi matahari, maka radiasi potensial berbeda untuk setiap lintang dan musimnya. Sedangkan evapotranspirasi potensial yang belum dikoreksi dihitung dengan persamaan berikut:

$$ETx = 16 \left(\frac{10 \cdot T}{I} \right)^a \quad (3)$$

Di mana :

- T : Temperatur ($^\circ C$)
- a : Nilai tetapan berdasarkan nilai I yaitu:

$$a = (675 \cdot 10^{-9}) I^3 - (771 \cdot 10^{-7}) I^2 + (197 \cdot 10^{-4}) I + 0,4 \quad (4)$$

- I : Besarnya indeks panas tahunan yang dihitung dengan:

$$I = \sum i \rightarrow i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1,514} \quad (5)$$

di mana I adalah indeks panas bulanan.

Menghitung besarnya perubahan kelengasan tanah (ΔST) dengan cara mengurangi nilai kelengasan tanah (Storage=ST) pada bulan yang bersangkutan dengan nilai ST pada bulan sebelumnya. ST ditentukan berdasarkan bulan basah dan bulan kering sebagai berikut:

1) Bulan Basah ($P > ETp$)

Pada bulan-bulan basah, nilai ST untuk tiap bulannya sama dengan nilai WHC (*Water Holding Capacity*). Nilai WHC diperoleh dengan tahapan berikut:

$$\text{Total WHC} = \text{WHC} \times \% \text{ Luas Area Vegetasi} \quad (6)$$

WHC atau kapasitas tanah dalam menyimpan air adalah tebal air maksimum yang dapat tersimpan pada setiap lapisan tanah yang besarnya ditentukan oleh porositas tanah dan kedalaman akar (Chacha et al., 2019). Nilai WHC tergantung

pada tekstur dan kedalaman perakaran tanaman yang ditentukan dari peta penggunaan lahan dan jenis tanah (Pedraza et al., 2015). Kelembaban tanah pada Kapasitas lapang (Sto) sama dengan Kapasitas menyimpan air (WHC) (Tatas et al., 2015).

2) Bulan Kering ($P < ET_p$)

Pada bulan-bulan kering, nilai ST untuk tiap bulannya dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$ST = Sto \cdot e^{(APWL/-Sto)} \quad (7)$$

Di mana :

Sto : tebal air maksimum yang dapat tersimpan pada setiap kedalaman lapisan tanah (mm)

e : bilangan navier ($e = 2,718$)

APWL : akumulasi potensial kehilangan air tanah (mm/bulan)

Nilai APWL merupakan nilai akumulasi bulanan dari selisih presipitasi dan evapotranspirasi potensial ($P-ET_p$). Menghitung APWL dengan cara berikut:

Jika bulan kering ($P < ET_p$), Menjumlahkan nilai selisih ($P-ET_p$) pada bulan tersebut dengan nilai ($P-ET_p$) bulan sebelumnya dan jika bulan basah ($P > ET_p$), Nilai APWL sama dengan nol.

Defisit diperoleh dengan menghitung selisih antara ET_p dengan ET_a yaitu:

$$D = ET_p - ET_a \quad (8)$$

Di mana :

D : defisit/kekurangan lembab tanah (mm/bulan)

ET_a : evapotranspirasi aktual (mm/bulan)

Sedangkan untuk memperoleh nilai evapotranspirasi aktual, yaitu dengan cara menentukan bulan basah dan bulan kering terlebih dahulu. Besarnya ET_a menentukan besarnya defisit.

Untuk bulan-bulan basah ($P > ET_p$), maka:

$$ET_a = ET_p \quad (9)$$

Untuk nilai bulan-bulan kering ($P < ET_p$), maka:

$$ET_a = P - \Delta ST \quad (10)$$

Besarnya surplus menunjukkan air yang dapat tersedia dan defisit menunjukkan besarnya kekurangan air pada lahan. Jika defisit berada pada angka 0 (nol) atau tidak mengalami kekurangan, maka ketersediaan air tidak dalam kondisi surplus maupun defisit.

2.2.4. Analisis data retensi air

Metode kertas saring Whatman adalah teknik yang sudah lama digunakan untuk menentukan kurva retensi air tanah pada tanah pertanian. Metode ini, dengan koefisien determinasi yang tinggi (R^2 sebesar 0,99), memberikan alternatif metode konvensional untuk menilai retensi air (E. L. de Almeida et al., 2015). Metode kertas saring, yang distandarisasi dalam ASTM D5298-16, telah banyak digunakan untuk mengukur potensi dan hisapan tanah (Pande et al., 2019).

Metode kertas saring adalah teknik yang digunakan untuk mengukur kurva retensi air tanah (WRCs) (Kim et al., 2017; Pande et al., 2019; Sandi et al., 2017). Pengumpulan sampel tanah utuh dari lapangan menggunakan ring sampel dengan diameter dalam 7 cm dan tinggi 5 cm. Kalibrasi kertas saring dengan mengukur potensial airnya pada kadar air yang berbeda. Ini melibatkan penempatan kertas saring di lingkungan terkendali dengan tingkat kelembapan yang diketahui dan mengukur potensi air menggunakan tensiometer. Untuk kalibrasi kertas filter whatman 42 digunakan rumus sesuai dengan ASTM D5298-10 sebagai berikut (Kim et al., 2017):

$$W_{cfp} < 45,47\% \text{ maka } \log_{10}(S) = 5,336 - 0,0779(W_{cfp}) \quad (11)$$

$$W_{cfp} > 45,47\% \text{ maka } \log_{10}(S) = 2,394 - 0,0132(W_{cfp}) \quad (9)$$

Di mana, W_{cfp} adalah kadar air kertas filter whatman 42 (%) dan S adalah *suction* (isapan) dalam Kpa.

Kertas saring diletakkan bersentuhan dengan sampel tanah kemudian diletakkan dalam wadah kedap udara untuk mencegah pertukaran kelembapan dengan lingkungan. Biarkan kertas saring seimbang dengan kelembapan tanah setidaknya selama 24-48 jam pada suhu kamar. Setelah mencapai kesetimbangan, kertas saring dikeluarkan dari sampel tanah dengan hati-hati dan segera ditimbang. Kertas saring yang telah ditimbang kemudian di oven pada suhu 105°C selama 24 jam lalu ditimbang untuk mengetahui berat keringnya untuk perhitungan kadar air.

$$\text{Kadar air } (\theta) = \frac{\text{Berat kering (gr)} - \text{Berat Basah (gr)}}{\text{Berat kering (gr)}} \times 100\% \quad (10)$$

Gunakan kurva kalibrasi yang telah ditetapkan sebelumnya untuk mengubah kadar air kertas saring menjadi potensial matrik yang sesuai.

2.3. Hasil

2.3.1. Neraca air tanah

Tabel 2.3.1. menunjukkan neraca air di Takalar. Data ini menunjukkan bahwa bulan kemarau terjadi pada bulan Juli sampai dengan bulan September, sedangkan musim hujan dimulai pada bulan November hingga Juni. Data yang digunakan merupakan data iklim lima tahun terakhir (2016-2017). Tabel 2.3.1 menunjukkan rata-rata curah hujan tahunan tertinggi pada lokasi penelitian adalah 632.5 mm pada bulan Desember dan rata-rata curah hujan terendah adalah 6 mm pada bulan agustus. Pengukuran suhu rata-rata tertinggi yaitu 28.6 °C sedangkan suhu terendah yaitu 26.9 °C. Tabel 2.3.1 menunjukkan bahwa selama musim hujan (Desember-April) terjadi surplus air sedangkan terjadi defisit pada bulan Mei hingga Oktober.

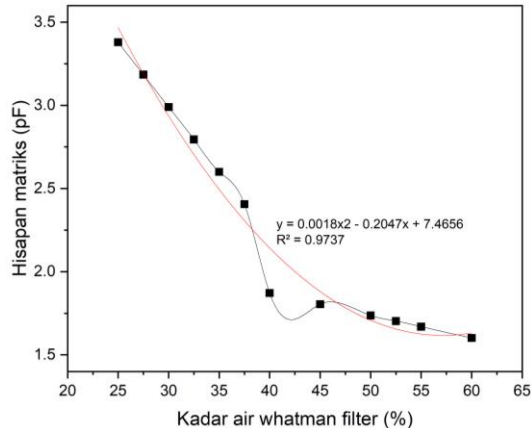
Tabel 2.3.1. Neraca air tanah pada lahan penelitian Pabrik Gula Takalar

Parameter [#]	Bulan (mm)											
	Jan	Feb	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agust	Sept	Okt	Nov	Des
P (mm)	539,7	428,5	366,0	209,8	130,9	148,8	57,7	6,0	31,6	73,7	195,5	632,5
T (°C)	27,0	27,0	27,3	27,8	27,8	27,3	26,8	26,9	27,6	28,5	28,6	27,6
ETp (mm)	142,3	134,0	153,1	158,9	162,9	145,6	139,0	142,5	153,7	183,7	182,5	162,7
ETa (mm)	142,3	134,0	153,1	158,9	161,0	146,0	119,5	73,7	67,6	94,0	182,5	162,7
APWL	0	0	0	0	-32,1	-28,9	-110,1	-246,6	-368,7	-478,6	0	0
S	397,4	294,5	212,8	51,0	0	0	0	0	0	0	0	469,8
D	0	0	0	0	2,0	-0,4	19,4	68,8	86,0	89,6	0	0

P (precipitation), T (temperature), ETP (evapotranspirasi potensial), Eta (evapotranspirasi aktual), APWL (akumulasi potensial kehilangan air tanah), S (surplus), dan D (defisit).

2.3.2. Retensi Air

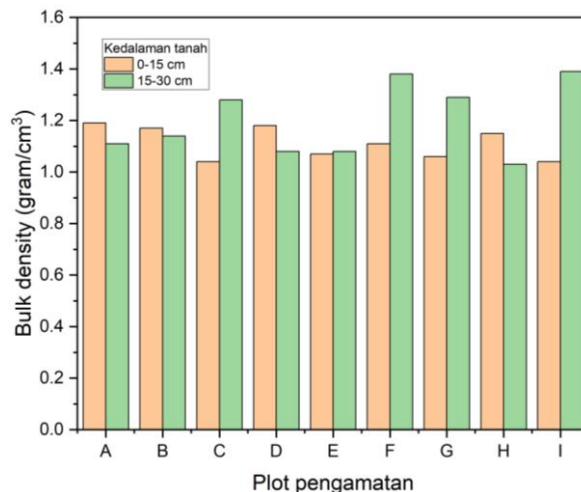
Pada penelitian ini, retensi air hanya ditentukan berdasarkan estimasi titik jenuh dan kapasitas lapang (2-3 hari setelah hujan). Kurva yang menggambarkan kondisi air tanah pada berbagai hisapan matriks (pF) disajikan pada Gambar 2.3.1. Pada kadar air 60%, nilai pF adalah 1,6 dan pada kadar air 25% nilai pF adalah 3,37.



Gambar 2.3.1. Kurva pF tanah di lokasi penelitian.

2.3.3. Kerapatan isi tanah

Gambaran perbandingan kerapatan isi tanah pada kedalaman 0-15 dan 15-30 cm dari lokasi penelitian disajikan pada Gambar 2.3.2.

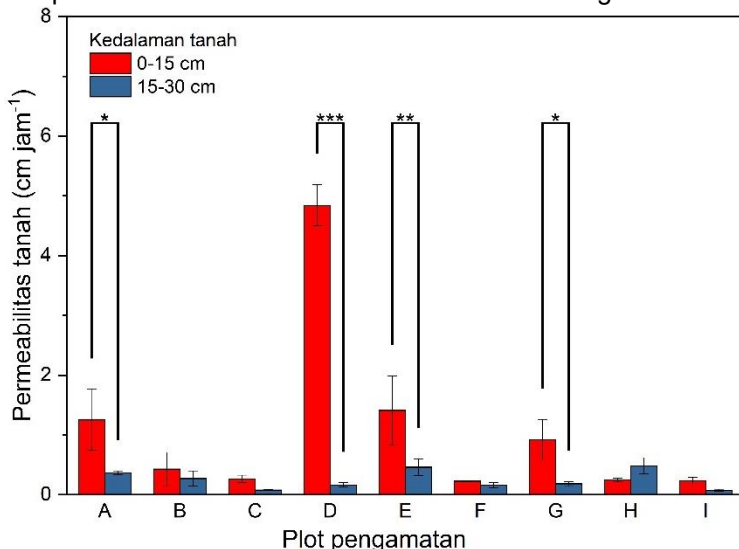


Gambar 2.3.2. Kerapatan isi tanah di lokasi penelitian

Hasil menunjukkan bahwa kedalaman tanah memengaruhi nilai Kerapatan isi tanah. Plot pengamatan yang mengalami pemadatan tanah (kerapatan isi tanah $>1,3$ g cm⁻³) hanya titik E dan I. Oleh karena itu, secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa tanah pada lokasi penelitian tidak mengalami pemadatan tanah.

2.3.4. Laju permeabilitas tanah

Permeabilitas tanah yang diukur pada lokasi penelitian menunjukkan perbedaan yang signifikan antara kedalaman 0-15 cm dan 15-30 cm. Secara keseluruhan, nilai permeabilitas pada kedalaman 0-15 cm lebih besar dibanding kedalaman 15-30 cm.

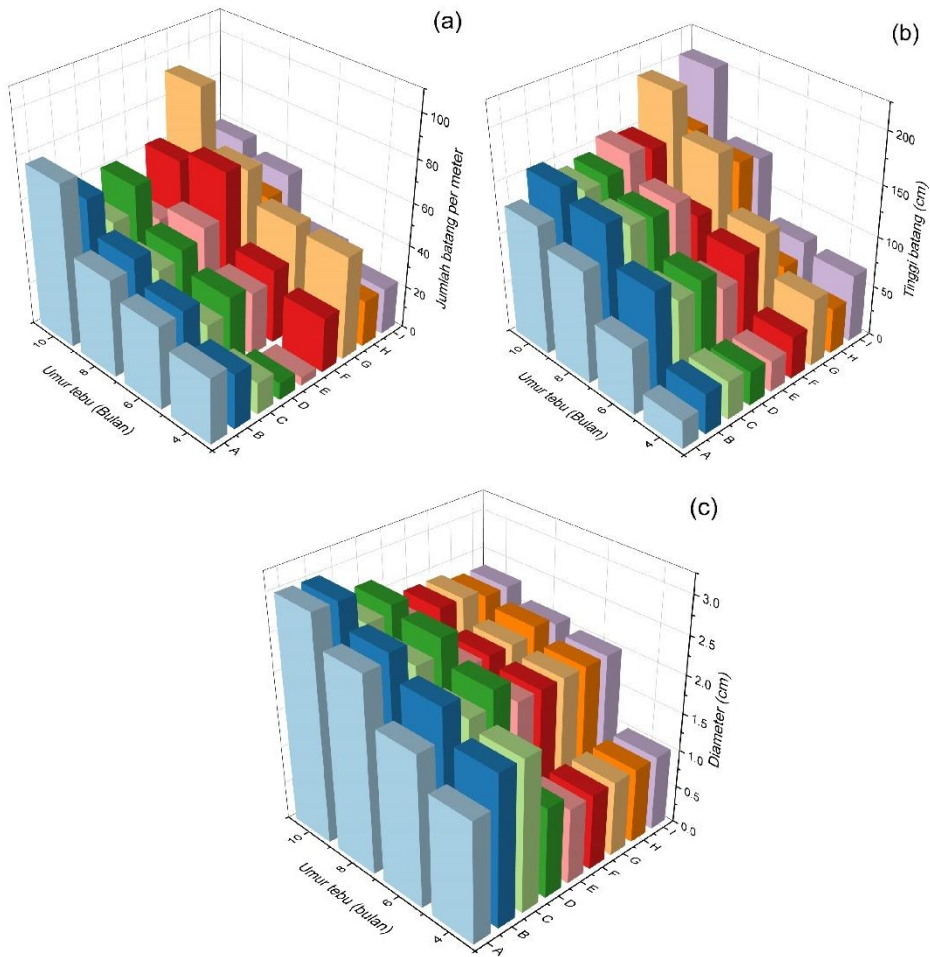


Gambar 2.3.3. Permeabilitas tanah di lokasi penelitian. * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.01$, *** $p \leq 0.001$

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa terjadi penurunan laju permeabilitas seiring bertambahnya kedalaman tanah (Gambar 2.3.3). Laju permeabilitas tanah tertinggi yaitu pada plot D (kedalaman 0-15 cm) sekitar $4,84 \text{ cm jam}^{-1}$, namun menurun drastis menjadi $0,16 \text{ cm jam}^{-1}$ pada kedalaman 15-30 cm.

2.3.3. Pertumbuhan tanaman

Terdapat variasi pertumbuhan pada setiap titik pengamatan dalam hal jumlah batang, tinggi batang, dan diameter tanaman (Gambar 2.3.3). Plot G merupakan titik pengamatan dengan jumlah batang tebu terbanyak, dan titik E dengan jumlah batang paling sedikit. Untuk tinggi tanaman, plot G juga mempunyai tinggi batang yang paling tinggi dibandingkan titik pengamatan lainnya.



Gambar 2.3.4. Pertumbuhan tanaman di lokasi penelitian (a) jumlah batang per meter, (b) tinggi tanaman, (c) diameter batang

2.4. Pembahasan

Tanaman tebu pada lokasi penelitian ditanam pada bulan November 2020 dan dipanen pada bulan Oktober 2021, sehingga pada saat terjadi surplus air, tebu masih berada pada fase perkecambahannya yaitu umur 1-3 bulan (James, 2004). Penelitian sebelumnya oleh Pierre et al. (2014) melaporkan bahwa tebu berkecambah pada suhu optimal 27°C - 36°C dan potensial air di bawah -0.5 MPa dapat mengurangi separuh porsi perkecambahannya. Meski intensitas curah hujan pada bulan Desember dan Januari tergolong sedang, namun fakta di lapangan menunjukkan terjadinya genangan di daratan. Rendahnya kemampuan tanah dalam melewatkan air dapat dilihat dari nilai permeabilitas tanah atau kecepatan pergerakan suatu zat cair pada media berpori dalam keadaan jenuh (Guo et al., 2020). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa permeabilitas tanah pada lokasi penelitian diklasifikasikan dalam laju permeabilitas yang lambat yakni pada rentang $0.012\text{-}0.5\text{ cm jam}^{-1}$

(Luhukay et al., 2022). Kemudian, intensitas curah hujan yang tinggi memperburuk kondisi tanah.

Kemampuan tanah memegang air dapat dilihat dari kurva karakteristik air tanah dan kadar air lapang. Kurva karakteristik air tanah menunjukkan jumlah air yang masih dapat ditahan oleh tanah setelah diberi tekanan tertentu (pF tertentu). Jumlah air maksimum yang dapat ditahan dianggap setara dengan kadar air kapasitas lapang (Wahyunie et al., 2012). Kadar air kapasitas lapang (hisapan matrik pF 2.54) menunjukkan bahwa kadar air tanah di lapangan berada di bawah 20% (Gambar 2.3.1).

Anakan akan terbentuk ketika tanaman tebu memasuki umur 2 bulan dan bertahan hingga 120 hari setelah tanam. Beberapa faktor yang mendukung terbentuknya anakan, seperti varietas, cahaya, suhu, dan kelembaban tanah. Cahaya adalah faktor paling penting. Cahaya yang cukup akan menghasilkan tunas vegetatif yang kuat. Suhu 30 °C merupakan suhu ideal untuk fase perkecambahan, dan suhu di bawah 20 °C akan memperlambat pembentukan anakan tebu. Anakan yang berumur awal akan menghasilkan batang yang lebih tebal dan berat, sedangkan anakan yang terlambat akan mati atau tetap pendek dan belum menghasilkan pada saat panen. Satu tunas tebu akan menghasilkan sekitar enam sampai delapan anakan (Borém, Aluizio; Caldas, Celso; Santos, 2015). Hanya 4-6 anakan per tunas tebu yang terbentuk di lokasi penelitian. Anakan yang terbentuk masih di bawah rata-rata anakan tebu yang seharusnya. Hasil ini sangat memengaruhi produksi tebu di Takalar. Selain itu, tinggi tanaman tebu umumnya berkisar antara 250 hingga 400 cm dengan diameter 2-5 cm. Grafik pada Gambar 2.3.4b menunjukkan tinggi batang tebu yang paling tinggi hanya sekitar 204 cm, dengan diameter terbesar hanya 3 cm. Data ini menunjukkan pertumbuhan tebu di Takalar terhambat.

2.5. Kesimpulan

Pertumbuhan tebu dipengaruhi oleh beberapa faktor iklim, antara lain curah hujan, suhu, kondisi tanah, dan cahaya. Kondisi tanah di Takalar menunjukkan bahwa tanah di lahan perkebunan tebu sangat rentan terhadap curah hujan. Nilai permeabilitas tanah yang rendah mengakibatkan pergerakan air di dalam tanah sangat lambat, sehingga tanah menjadi tergenang pada saat curah hujan tinggi, dan pada saat kekeringan, tanah tidak dapat menyimpan persediaan air bagi tanaman. Faktor-faktor tersebut kemudian memengaruhi pertumbuhan tanaman sehingga jumlah anakan yang tumbuh sedikit, tinggi tanaman pendek, dan diameter tanaman kecil.

Daftar Pustaka

- Borém, Aluizio; Caldas, Celso; Santos, F. (2015). Sugarcane Agricultural Production, Bioenergy, and Ethanol. In F. Santos (Ed.), Academic Press is an imprint of Elsevier (Vol. 3, Issue February 2004).
- Chacha, M. S., Andrew, B., & Vegi, M. R. A. O. (2019). Amendment of Soil Water Retention and Nutrients Holding Capacity by using Sugar Cane Bagasse. 7(2).

- de Almeida, E. L., Teixeira, A. dos S., da Silva Filho, F. C., de Assis Júnior, R. N., & Leão, R. A. de O. (2015). Filter Paper Method For the Determination of yhe Soil Water Retention Curve. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 39(5), 1344–1352. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140546>
- Guo, X. xia, Liu, H. tao, & Zhang, J. (2020). The role of biochar in organic waste composting and soil improvement: A review. *Waste Management*, 102, 884–899. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.12.003>
- Hayashi, Y., Kosugi, K., & Mizuyama, T. (2009). Soil Water Retention Curves Characterization of a Natural Forested Hillslope using a Scaling Technique Based on a Lognormal Pore-Size Distribution. *Soil Science Society of America Journal*, 73(1), 55–64. <https://doi.org/10.2136/sssaj2007.0235>
- James, G. (2004). *World Agriculture Series: Sugarcane*. In Blackwell Publishing Company.
- Kim, H., Prezzi, M., & Salgado, R. (2017). Calibration of Whatman Grade 42 filter paper for soil suction measurement. *Canadian Journal of Soil Science*, 97(2), 93–98. <https://doi.org/10.1139/cjss-2016-0064>
- Luhukay, M., Risamasu, R. G., Osok, R. M., & Slamet, S. (2022). Study of Physical and Mineral Properties of Soil Clay Landslide Location of IAIN Campus Ambon City. *International Journal of Multidisciplinary: Applied Business and Education Research*, 3(12), 2611–2621. <https://doi.org/10.11594/ijmaber.03.12.14>
- Manuela Portela, M., Santos, J., & Marinho de Carvalho Studart, T. (2020). Effect of the Evapotranspiration of Thornthwaite and of Penman-Monteith in the Estimation of Monthly Streamflows Based on a Monthly Water Balance Model. *Current Practice in Fluvial Geomorphology - Dynamics and Diversity*, 1–14. <https://doi.org/10.5772/intechopen.88441>
- Nugroho, A. R., Tamagawa, I., Riandraswari, A., & Febrianti, T. (2019). Thornthwaite-Mather water balance analysis in Tambakbayan watershed, Yogyakarta, Indonesia. *MATEC Web of Conferences*, 280, 05007. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201928005007>
- Page, K. L., Dang, Y. P., Dalal, R. C., Reeves, S., Thomas, G., Wang, W., & Thompson, J. P. (2019). Changes in soil water storage with no-tillage and crop residue retention on a Vertisol: Impact on productivity and profitability over a 50 year period. *Soil and Tillage Research*, 194(May), 104319. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104319>
- Pande, P., Khandeshwar, S., Bajad, S., & Raut, S. (2019). Calibration of filter paper for measuring total soil suction. *SN Applied Sciences*, March. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0820-x>
- Pedraza, V., Perea, F., Saavedra, M., Fuentes, M., Castilla, A., & Alcántara, C. (2015). Winter Cover Crops as Sustainable Alternative to Soil Management System of a Traditional Durum Wheat-sunflower Rotation in Southern Spain. *Procedia*

Environmental Sciences, 29 (Agri), 95–96.
<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.177>

- Pierre, J. S., Rae, A. L., & Bonnett, G. D. (2014). Abiotic Limits for Germination of Sugarcane Seed in Relation to Environmental Spread. *Tropical Plant Biology*, 7(3–4), 100–110. <https://doi.org/10.1007/s12042-014-9141-9>
- Pollacco, J. A. P., Fernández-Gálvez, J., & Carrick, S. (2020). Improved prediction of water retention curves for fine texture soils using an intergranular mixing particle size distribution model. *Journal of Hydrology*, 584(October 2019), 124597. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124597>
- Porporato, A., Daly, E., & Rodriguez-Iturbe, I. R.-I. (2004). Soil Water Balance and Ecosystem Response to Climate Change. *Chicago Journals*, 164(5), 318–321. https://doi.org/10.1007/978-3-642-61320-3_6
- Rawls, W. J., Pachepsky, Y. A., Ritchie, J. C., Sobecki, T. M., & Bloodworth, H. (2003). Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*, 116(1–2), 61–76. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00094-6](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00094-6)
- Sabaruddin, L., Arafah, N., Syaf, H., Leomo, S., Rakian, T. C., & La Fua, J. (2021). Analysis of soil water balance to determine planting time of crops on dryland, Indonesia. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 24(2), 241–251. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2021.241.251>
- Sandi, D. M. N., Indarto, Bayuaji, R., & Ekaputri, J. J. (2017). Study of Using Paper Filter Whatman no . 42 for Measuring Water Retention in Cement Paste. *The Journal for Technology and Science*, 27(42). <https://doi.org/10.12962/jt20882033.v27i3.1905>
- Tatas, Budipriyanto, A., Khoiri, M., Lestari, W., & Rahman, A. (2015). Study on water balance in Poteran: A small island in East Java, Indonesia. *Procedia Engineering*, 125, 236–242. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.034>
- Tuller, M., & Or, D. (2004). Water Retention and Characteristic Curve. *Encyclopedia of Soils in the Environment*, 4, 278–289. <https://doi.org/10.1016/B0-12-348530-4/00376-3>
- Wahyunie, R. E., Baskoro, D. P. T., & Sofyan, M. (2012). Water Retention Capacity and Resistance of Soil Penetration in Intensive Tillage System and Conservation Soil Tillage. *Jurnal Tanah Lingk*, 14(2), 73–78.
- Wang, D., Li, C., Parikh, S. J., & Scow, K. M. (2019). Impact of biochar on water retention of two agricultural soils – A multi-scale analysis. *Geoderma*, 340(January), 185–191. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.01.012>
- Westenbroek, M. S., Kelson, V. a., Dripps, W. R., Hunt, R. J., & Bradbury, K. R. (2010). SWB — A Modified Thornthwaite-Mather Soil-Water- Balance Code for Estimating Groundwater Recharge. *U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A31*, January, 60.