

DISERTASI

**PERBAIKAN RETENSI AIR, FOSFOR DAN NITROGEN DARI
BIOCHAR YANG DITAMBAHKAN BAKTERI PENGHASIL
ALGINAT UNTUK PENINGKATAN PRODUKTIVITAS
LAHAN KERING**

*GREATER WATER, PHOSPHORUS AND NITROGEN RETENTION OF
BIOCHAR RESULTED FROM ALGINAT ADDED SOIL BACTERIA FOR
HIGHER DRYLAND PRODUCTIVITY*

SUKMAWATI



**SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2020**

**PERBAIKAN RETENSI AIR, FOSFOR DAN NITROGEN DARI BIOCHAR
YANG DITAMBAHKAN BAKTERI PENGHASIL ALGINAT UNTUK
PENINGKATAN PRODUKTIVITAS LAHAN KERING**

Disertasi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Doktor

Program Studi

Ilmu Pertanian

disusun dan diajukan oleh

SUKMAWATI

kepada

**SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2020**

DISERTASI


PERBAIKAN RETENSI AIR, FOSFOR DAN NITROGEN DARI BIOCHAR
YANG DITAMBAHKAN BAKTERI PENGHASIL ALGINAT UNTUK
PENINGKATAN PRODUKTIVITAS LAHAN KERING

Disusun dan diajukan oleh


SUKMAWATI
Nomor pokok P0100316409

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Disertasi
pada tanggal 23 Desember 2020
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

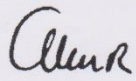
Menyetujui
Komisi Penasehat


Prof. Dr. Ir. H. Ambo Ala, MS
Promotor



Prof. Dr. Ir. Sikstus Gusli, M.Sc.
Ko-Promotor


Prof. Dr. Ir. Baharuddin, Dipl. Ing.
Ko-Promotor

Ketua Program Studi
Ilmu Pertanian,


Prof. Dr. Ir. Darmawan Salman, M.S.

Dekan Sekolah Pascasarjana
Universitas Hasanuddin,


Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.



PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sukmawati
Nomor mahasiswa : P0100316409
Program studi : Ilmu Pertanian

dalam hal ini menyatakan bahwa disertasi ini adalah benar merupakan hasil karya sendiri yang ditulis berdasarkan hasil penelitian yang telah saya lakukan, semua data bersifat original dan dibahas berdasarkan pemikiran sendiri, didukung oleh berbagai literatur yang disitasi berdasarkan etika keilmuan. Saya bersedia menerima sanksi, apabila dikemudian hari ada yang membuktikan bahwa tulisan ini merupakan hasil pemikiran orang lain.

Makassar, Desember 2020

Yang menyatakan,

A green 6000 Rupiah stamp with the text "METERAI TEMPEL" at the top, a serial number "2B339AHF796773448", and "6000" in large numbers. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text "REPUBLIC OF INDONESIA" and "ENAM RIBU RUPIAH". A handwritten signature is written over the stamp.

Sukmawati

PRAKATA

Biochar yang ditambahkan isolat bakteri penghasil alginat telah terbukti sebagai salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk memperbaiki sifat fisik tanah yang berkaitan dengan retensi air, serta memperbaiki retensi nitrogen dan fosfat sehingga meningkatkan produksi jagung hibrida pada tanah bertekstur liat. Perbaikan dilakukan dengan modifikasi rhizosfer tanaman jagung berbasis karbon dan polimer alginat alami untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air dan unsur hara seperti nitrogen dan fosfor, sehingga mendukung pada peningkatan produktivitas lahan kering. Disertasi ini melaporkan hasil penelitian tentang **“Perbaikan retensi air, fosfor, nitrogen dari biochar yang ditambahkan bakteri penghasil alginat untuk peningkatan produktivitas lahan kering”**

Rahmat dan ridha Allah SWT senantiasa menyertai penulis dalam melaksanakan serangkaian penelitian yang ditulis dalam bentuk karya ilmiah. Semoga rahmat Allah SWT selalu tercurah kepada tim promotor Prof.Dr.Ir.H.Ambo Ala, MS, Prof. Dr. Ir. Sikstus Gusli, M.Sc. dan Prof. Dr. Ir.Baharuddin, Dipl.Ing, karena kapasitas keilmuan dan kesabaran dalam membimbing dan mengarahkan penulis merupakan anugerah yang tiada tara dalam pencapaian taraf keilmuan yang lebih baik. Begitupula, kepada tim penguji Prof.Dr.Ir.Yunus Musa, M.S, Prof Dr.Elkawakib Syam'un, M,Sc., Prof.Dr.Ir. Tutik Kuswinanti, M.Sc., Dr.Ir, Jayadi, M.Sc serta penguji eksternal DR. Muh.Asrai, S.P.M.Sc., penulis mengucapkan banyak terima kasih atas segala kapasitas keilmuan untuk kesempurnaan disertasi ini. Demikian pula,

Mengucapkan banyak terima kasih kepada Rektor Universitas Hasanuddin, Dekan Pasca Sarjana dan jajarannya, Ketua Prodi S3 Ilmu Pertanian, yang telah memfasilitasi penulis mulai dari awal perkuliahan hingga studi ini berakhir, baik dalam proses perkuliahan maupun penelitian di laboratorium maupun lapangan. Kepada pihak LPDP selaku pemberi beasiswa BUDI-DN, penulis banyak mengucapkan terima kasih atas segala biaya perkuliahan, penelitian, seminar maupun publikasi dan kerja sama yang baik dalam mendukung penulis secara total, dalam menempuh pendidikan hingga penyelesaian studi. Disertasi ini ditulis berdasarkan serangkaian penelitian yang dilakukan dengan berbagai macam analisis di laboratorium maupun uji di lapangan. Olehnya itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Ahmad Yani, laboran di Laboratorium Bioteknologi PKP, ibu Anti laboran di Laboratorium kimia dan kesuburan tanah Fakultas Pertanian atas segala bantuan dalam analisis kimia tanah, para staf lapangan Teaching Farm Fakultas pertanian atas segala bantuannya selama penelitian lapangan serta Wawan dan Suleman (alumni agroteknologi UNHAS) atas bantuannya dalam analisis data.

Selain itu, saya juga mengucapkan terima kasih kepada teman-teman seperjuangan dan seangkatan di Program Studi Ilmu pertanian 2016 atas segala kepercayaan, empati, kerjasama, dukungan untuk saling support dan bahu membahu mulai dari hari pertama perkuliahan hingga masanya menjadi alumni. Kita semua tidak secara kebetulan dipersatukan dalam bingkai ilmu pengetahuan kecuali ada kebaikan dan rahmat Allah SWT.

Semoga Allah merahmati kebahagiaan kepada ibundaku Hj.Nurdaya dan ayahanda H. Palompai atas segala cinta kasih dan pengorbanannya yang

tiada tara. Kepada Muhammad Arsyil ST dan ketiga buah hati penulis, Ahmad Razan Mallibureng, Ahmad Khuzami Mallibureng dan Riyona Atinna Mallibureng, terima kasih atas segala cinta kasih, dukungan, kesabaran dan penerimaan tanpa pamrih kepada penulis. Kedua adikku, Syamsurijal dan Syamsuriwati serta keluarga besar penulis yang telah mengiringi perjalanan hidup penulis. Kepada sahabat terbaik, Kakanda Nurmiaty, Iradhatullah Rahim dan Fatmawati atas segala dukungan dan persaudaraan yang tak lekang oleh waktu.

Demikianlah disertasi ini ditulis dengan bantuan dari berbagai pihak yang tidak sempat penulis sebutkan semuanya dalam kesempatan ini. Namun demikian, harapan kita semua adalah tulisan ini memberikan manfaat dan menjadi referensi dalam perbaikan lahan yang mengarah pada peningkatan produktivitas lahan kering. Terima kasih.

Makassar, Desember 2020

Penulis

ABSTRAK

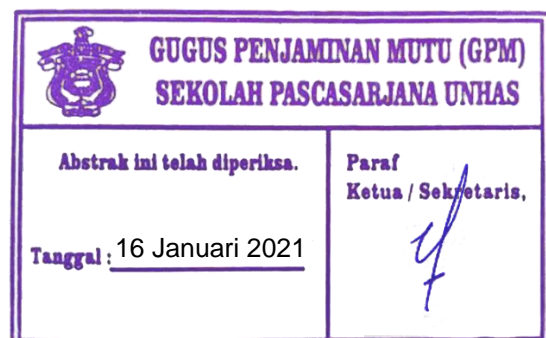
SUKMAWATI. Perbaikan retensi air, fosfor, nitrogen dari biochar yang ditambahkan bakteri penghasil alginat untuk peningkatan produktivitas lahan kering (dibimbing oleh Ambo Ala, Sikstus Gusli, dan Baharuddin).

Penelitian ini bertujuan mengkaji efektivitas biochar yang ditambahkan bakteri penghasil alginat untuk memperbaiki retensi air, nitrogen dan fosfor, sehingga tersedia bagi tanaman guna peningkatan produktivitas lahan kering.

Penelitian dibagi empat tahap, yakni: 1) karakterisasi bakteri penghasil alginat dari rhizosfer jagung, kakao dan lamtoro; 2) karakterisasi fisikokimia biochar dari cangkang dan tandan kosong kelapa sawit serta tongkol jagung; 3) perbaikan retensi air pada tanah bertekstur kontras; dan 4) status hara tanah, tanaman dan produksi jagung. Analisis ragam dilakukan menggunakan program Microsoft Excel 2019.

Kami menemukan, isolat KK1-40, isolat KK3-32 dan isolat LR1-25, masing-masing unggul dalam produksi alginat ($0,082 \text{ g mL}^{-1}$), pelarutan fosfat ($10,85 \text{ mL L}^{-1}$) dan kadar N-total ($0,39 \%$). Biochar cangkang dan tandan kelapa sawit serta tongkol jagung masing-masing menghasilkan volatil ($27,74\%$), abu ($15,41 \%$) dan karbon tetap ($71,62 \%$) tertinggi. Biochar cangkang kelapa sawit yang ditambahkan isolat KK3-32 meretensi air lebih banyak pada tanah liat ($0,13 \text{ g g}^{-1}$); isolat LR1-25 dan biochar tandan kosong kelapa sawit pada tanah lempung berpasir hanya meretensi air $0,04 \text{ g g}^{-1}$. Interaksi biochar tongkol jagung dan isolat KK3-32 menghasilkan kadar N-total ($0,98\%$) dan P-total ($0,20 \text{ mg kg}^{-1}$) daun serta menghasilkan produksi jagung sebesar $12,78$, $11,89$ dan $8,80 \text{ ton h}^{-1}$, masing-masing pada kadar air tanah 100 , 80 dan 60% kapasitas lapang. Jadi, biochar yang ditambahkan bakteri penghasil alginat dapat meningkatkan retensi air dan nitrogen untuk perbaikan produktivitas lahan kering

Kata kunci: biopolimer, karbonisasi, kekeringan, nutrisi tanah, rhizosfer



ABSTRACT

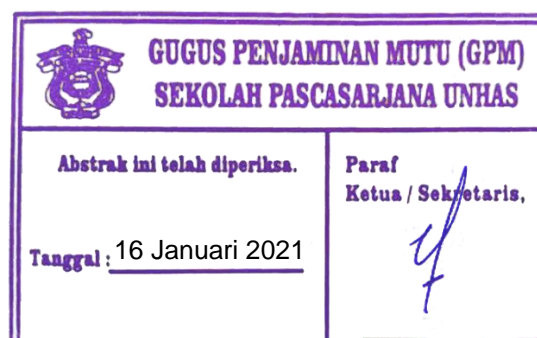
SUKMAWATI. Greater water, phosphorus and nitrogen retention of biochar resulted from alginat added soil bacteria for higher dryland productivity (supervised by Ambo Ala, Sikstus Gusli, and Baharuddin).

This study aimed at assessing effectiveness of rhizosphere bacteria-added biochar to improve water, nitrogen and phosphorus retention available to plants for higher dry land productivity.

The research consisted of four serial steps, *i.e.* 1) characterization of alginate-producing bacteria maize, cocoa and *Leucaena* sp. rhizosphere; 2) physicochemical characterization of biochar from shells and empty bunches of oil palm and corn cobs; 3) improved water retention in contrast textured soils; and 4) status of soil nutrients, crops and maize production. The Microsoft Excel 2019 program was used for variance analysis.

We found, isolates KK1-40, KK3-32 and LR1-25 were superior in alginate production (0.082 g mL^{-1}), phosphate solvent (10.85 mL L^{-1}) and total N content (0.39 %). Oil palm shells, empty bunches and corn cobs biochars were respectively the highest in volatiles (27.74%), ash (15.41%) and fixed carbon (71.62%) productions. KK3-32 isolate-added oil palm shell biochar retained more water in clay soil (0.13 g g^{-1}), while LR1-25 isolate-added biochar of oil palm empty bunches only retained 0.04 g g^{-1} water on sandy loam soil. The corn cobs biochar – isolate KK3-32 interaction resulted in leaf N-total (0.98%) and P-total (0.20 mg kg^{-1}), producing maize yields 12.78, 11, 89 and 8.80 ton h^{-1} , respectively at 100, 80 and 60% field capacity soil water contents. Thus, alginate-added biochar can improve water and nitrogen retention for higher dry land productivity.

Keywords: biopolymer, carbonization, drought, soil nutrition, rhizosphere



DAFTAR ISI

PRAKATA	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL LAMPIRAN	xx
DAFTAR GAMBAR LAMPIRAN	xxii
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar belakang	1
B. Rumusan masalah	7
C. Tujuan penelitian	8
D. Manfaat penelitian	9
E. Kebaruan	9
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	11
A. Karakteristik fisik dan kimia biochar	11
B. Mekanisme retensi air tanah dan hara makro	17
C. Pengaruh biochar terhadap sifat tanah	20
D. Interaksi biochar dengan bakteri	22
E. Peran bakteri penghasil alginat terhadap retensi air dan hara tanah	24
E. Kerangka pikir penelitian	31
G. Hipotesa penelitian	32
BAB III. METODE PENELITIAN	33
A. Tempat dan Waktu	33
B. Alat dan Bahan	33
C. Rancangan Penelitian	35
1. Tahap I: Isolasi bakteri rhizosfer dari perakaran jagung, kakao dan lamtoro	35

2. Tahap II: Karakterisasi fisikokimia biochar dan modifikasi struktur menggunakan isolat bakteri penghasil alginat	40
3. Tahap III: Perbaikan retensi air pada tanah bertekstur kontras	46
4. Tahap IV: Status hara tanah, tanaman dan produksi jagung...	51
D. Analisis data.....	56
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	57
A. Hasil penelitian	57
1. Tahap I: Isolasi bakteri rhizosfer dari perakaran jagung, kakao dan lamtoro.....	57
2. Tahap II: Karakterisasi fisikokimia biochar dan modifikasi struktur menggunakan Isolat bakteri penghasil alginat	67
3. Tahap III: Perbaikan retensi air pada tanah bertekstur kontras	.86
4. Tahap IV: Status hara tanah, tanaman dan produksi jagung ...	103
B. Pembahasan	129
1. Tahap I: Karakteristik bakteri rhizosfer dari perakaran jagung, kakao dan lamtoro	129
2. Tahap II: Karakterisasi fisikokimia biochar dan modifikasi struktur menggunakan isolat bakteri penghasil alginat Komponen kimia dan fraksi bahan pada biochar	138
3. Tahap III: Perbaikan retensi air pada tanah bertekstur kontras	166
4. Tahap III: Status hara tanah, tanaman dan produksi jagung ..	187
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	221
A. Kesimpulan.....	221
B. Saran	222
DAFTAR PUSTAKA.....	223
LAMPIRAN	256

DAFTAR TABEL

Nomor		halaman
1.	Karateristik fisik dan kimia tanah bertekstur liat dan lempung berpasir yang digunakan pada penelitian. Angka yang diikuti asteris* menunjukkan kriteria status hara tanah (*sangat rendah **rendah *** sedang****tinggi *****Sangat tinggi)	34
2.	Karakteristik isolat bakteri dari rizosfer jagung (JG), kakao (KK), lamtoro (LR) berdasarkan morfologi koloni, morfologi koloni, pewarnaan Gram dan reaksi hipersensitivitas	59
3.	Biomassa sel dan berat kering alginat masing-masing isolat bakteri dari rhizosfer jagung (JG), kakao (KK), lamtoro (LR)	60
4.	Kemampuan pelarutan fosfat isolat bakteri penghasil alginat berdasarkan Efisiensi pelarutan fosfat (EP) dan Indek pelarutan fosfat (IP)	62
5.	Jumlah koloni isolat bakteri penghasil alginat yang diisolasi pada media biochar pada masa inkubasi 7 hari. Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada baris (x,y) tidak berbeda nyata pada uji lanjut BNJ taraf kepercayaan α 0.05	65
6.	Jumlah koloni isolat bakteri penghasil alginat yang diisolasi pada media biochar pada masa inkubasi 14 hari. Angka yang diikuti dengan huruh yang sama (x,y) tidak berbeda nyata pada uji lanjut BNJ taraf kepercayaan α 0.05	66
7.	Jumlah koloni isolat bakteri penghasil alginat yang diisolasi pada media biochar pada masa inkubasi 28 hari. Angka yang diikuti dengan huruh yang sama (x,y) tidak berbeda nyata pada uji lanjut BNJ taraf kepercayaan α 0.05	67
8.	Sifat kimia biochar dari cangkang kelapa sawit, tandan kosong kelapa sawit, dan tongkol jagung hasil pirolisis pada kisaran suhu 300-400°C	68

9. Jenis dan persentase fraksi pada biochar dari cangkang kelapa sawit, biochar tandan kosong kelapa sawit dan biochar tongkol jagung hasil pirolisis pada kisaran suhu 300-400°C 69
10. Karakteristik penyerapan gugus fungsi berdasarkan spektrofotometri Fourier Transforms Infrared (FTIR) pada biochar 70
11. Perubahan nilai spectra FTIR gugus fungsi permukaan biochar cangkang kelapa sawit setelah ditambahkan isolat bakteri KK1-40, KK3-32 dan LR1-2) dengan masa inkubasi 28 hari pada suhu 28°C 72
12. Perubahan nilai spectra FTIR gugus fungsi permukaan biochar tandan kosong kelapa sawit setelah setelah ditambahkan isolat bakteri KK1-40, KK3-32 dan LR1-25 dengan masa inkubasi 28 hari pada suhu 28°C 73
13. Perubahan nilai spectra FTIR gugus fungsi permukaan biochar tongkol jagung setelah ditambahkan isolat bakteri KK1-40, KK3-32 dan LR1-25 dengan masa inkubasi 28 hari pada suhu 28°C 74
14. Parameter kisi, volume dan porositas yang diturunkan dari spektra XRD untuk biochar cangkang kelapa sawit, tandan kosong kelapa sawit, tongkol jagung 75
15. Kepadatan tanah bertekstur liat dan lempung berpasir pada perlakuan tekstur tanah dan biochar. Angka-angka yang di ikuti huruf yang sama pada baris (ab) dan kolom (xy) berarti tidak berbeda nyata uji nilai pembandingan BNT taraf 5% 86
16. Kerapatan partikel tanah pada perlakuan tekstur tanah, isolat bakteri penghasil alginat dan biochar. Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada baris (abc) uji b pada t dan a yang sama, kolom (pqr) uji a pada t dan b yang sama dan kolom (xy) uji t pada a dan b yang sama, berarti tidak berbeda nyata uji nilai pembandi BNT taraf 5% 88
17. Porositas tanah pada perlakuan tekstur tanah, isolat bakteri penghasil alginat dan biochar. Angka-angka yang di ikuti huruf yang sama pada baris (ab) uji b pada t dan a yang sama, kolom (pq) uji a pada t dan b yang sama dan kolom (xy) uji t pada a dan b yang sama, berarti tidak berbeda nyata uji nilai pembandi BNT taraf 5% 89

18. Makroagregat tanah pada perlakuan tekstur tanah, isolat bakteri penghasil alginat dan biochar. Angka-angka yang di ikuti huruf yang sama pada baris (abc) uji b pada t dan a yang sama, kolom (pqr) uji a pada t dan b yang sama dan kolom (xy) uji t pada a dan b yang sama, berarti tidak berbeda nyata uji nilai pembandi BNT taraf 5% 90
19. Mesoagregat tanah pada perlakuan tekstur tanah, isolat bakteri penghasil alginat dan biochar. Angka-angka yang di ikuti huruf yang sama pada baris (abc) uji b pada t dan a yang sama, kolom (pqr) uji a pada t dan b yang sama dan kolom (xy) uji t pada a dan b yang sama, berarti tidak berbeda nyata uji nilai pembandi BNT taraf 5% 91
20. Mikroagregat tanah pada perlakuan tekstur tanah, isolat bakteri penghasil alginat dan biochar. Angka-angka yang di ikuti huruf yang sama pada baris (abc) uji b pada t dan a yang sama, kolom (pqr) uji a pada t dan b yang sama dan kolom (xy) uji t pada a dan b yang sama, berarti tidak berbeda nyata uji nilai pembandi BNT taraf 5% 92
21. Luas permukaan tanah pada perlakuan tekstur tanah, isolat bakteri penghasil alginat dan jenis biochar. Angka-angka yang di ikuti huruf yang sama pada baris (ab) uji b pada t dan a yang sama, kolom (pq) uji a pada t dan b yang sama dan kolom (x) uji t pada a dan b yang sama, berarti tidak berbeda nyata uji nilai pembandi BNT taraf 5% 93
22. Kadar air tanal liat pada potensial matriks -100 kPa dan -1000kPa setelah penambahan biochar dan isolat bakteri penghasil alginat 97
23. Kadar air tanal lempung berpasir antara potensial matriks 100 kPa dan 316 kPa yang dipengaruhi oleh penambahan biochar dan isolat bakteri penghasil alginat 101
24. KTK tanah liat pada kadar air kapasitas lapang, isolat bakteri penghasil alginat dan biochar. Angka-angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom (xyz) pada uji a dan kolom (pqr) uji b (b) serta pada baris (abc) pada uji c) berbeda tidak nyata pada uji BNT taraf kepercayaan 0.05 % 105
25. Kandungan C-organik tanah pada perlakuan kadar air kapasitas lapang, isolat bakteri dan biochar. Angka-angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom (xyz) pada uji a dan kolom (pqr) uji b (b) serta pada baris (abc)

- pada uji c) berbeda tidak nyata pada uji BNT taraf kepercayaan 0.05 %. 107
26. Kandungan N-total tanah pada perlakuan kadar air kapasitas lapang, isolat bakteri dan biochar. Angka-angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom (xyz) pada uji a dan kolom (pqr) uji b (b) serta pada baris (abc) pada uji c) berbeda tidak nyata pada uji BNT taraf kepercayaan 0.05 % 108
27. Rasio C/N tanah pada interkasi antara perlakuan kadar air kapasitas lapang dengan biochar . Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom (a,b,c) dan baris (x,y,z) berbeda tidak nyata pada taraf kepercayaan 0.05 % 110
28. Rasio C/N tanah pada interaksi antara isolat bakteri dengan biochar. Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom (a,b,c) dan baris (x,y,z) berbeda tidak nyata pada taraf kepercayaan 0.05 %. 110
29. Kandungan P-total tanah liat pada perlakuan kadar air kapasitas lapang, isolat bakteri dan biochar. Angka-angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom (xyz) uji a (a) dan kolom (pqr) uji b (b) serta pada baris (abc) uji c berbeda tidak nyata pada uji BNT taraf kepercayaan 0.05 %. 111
30. Kadar nitrogen daun jagung pada berbagai perlakuan kadar air kapasitas lapang, isolat bakteri penghasil alginat dan biochar. Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada baris (abc) uji b pada t dan a yang sama, kolom (pqr) uji a pada t dan b yang sama dan kolom (xyz) uji t pada a dan b yang sama, berarti tidak berbeda nyata uji nilai pembandingan BNT taraf 5% 113
31. Kadar fosfat daun jagung pada berbagai perlakuan kadar air kapasitas lapang, isolate bakteri dan biochar. Angka-angka yang di ikuti huruf yang sama pada baris (ab) uji b pada t dan a yang sama, kolom (pq) uji a pada t dan b yang sama dan kolom (xy) uji t pada a dan b yang sama, berarti tidak berbeda nyata uji nilai pembandingan BNT taraf 5%. 114
32. Tinggi tanaman jagung pada berbagai perlakuan KAKL dan biochar pada umur 14, 35 dan 49 HST. Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada baris (ab) dan kolom (xy) berarti tidak berbeda nyata uji nilai pembandingan BNT taraf 5%

33. Jumlah daun jagung pada perlakuan KAKL, isolat bakteri penghasil alginat dan biochar pada umur 14, 35 dan 49 HST. Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada baris (ab) dan kolom (xy) berarti tidak berbeda nyata uji nilai pembandingan BNT taraf 5% 117
34. Luas daun jagung pada perlakuan kadar air kapasitas lapang dan biochar. Angka-angka yang di ikuti huruf yang sama pada baris (ab) dan kolom (xy) berarti tidak berbeda nyata uji nilai pembandingan BNT taraf 5% 119
35. Berat kering akar jagung pada perlakuan kadar air kapasitas lapang, isolat bakteri penghasil alginat dan biochar. Angka-angka yang di ikuti huruf yang sama pada baris (ab) uji b pada t dan a yang sama, kolom (pq) uji a pada t dan b yang sama dan kolom (xy) uji t pada a dan b yang sama, berarti tidak berbeda nyata uji nilai pembandingan BNT taraf 5% 120
36. Berat kering tajuk jagung pada berbagai perlakuan kadar air kapasitas lapang, isolat bakteri penghasil alginat dan biochar. Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada baris (ab) uji b pada t dan a yang sama, kolom (pq) uji a pada t dan b yang sama dan kolom (xy) uji t pada a dan b yang sama, berarti tidak berbeda nyata uji nilai pembandingan BNT taraf 5% 121
37. Panjang tongkol jagung pada berbagai perlakuan kadar air kapasitas lapang dan biochar. Angka-angka yang di ikuti huruf yang sama pada baris (ab) dan kolom (xy) berarti tidak berbeda nyata uji nilai pembandingan BNT taraf 5% 122
38. Diameter tongkol jagung pada perlakuan kadar air kapasitas lapang dan biochar. angka-angka yang di ikuti huruf yang sama pada baris (ab) dan kolom (xy) berarti tidak berbeda nyata uji nilai pembandingan BNT taraf 5% 123
39. Berat tongkol tanpa klobot pada berbagai perlakuan kadar air kapasitas lapang dan biochar. Angka-angka yang di ikuti huruf yang sama pada baris (ab) dan kolom (xy) berarti tidak berbeda nyata uji nilai pembandingan BNT taraf 5% 124
40. Bobot 100 biji pada berbagai kadar air kapasitas lapang dan biochar. angka-angka yang di ikuti huruf yang sama pada kolom (xy) berarti tidak berbeda nyata uji nilai pembandingan BNT taraf 5%. 125

41. Bobot 100 biji pada interkasi antara kadar air kapasita lapang dan biochar. Angka-angka yang di ikuti huruf yang sama pada baris (ab) dan kolom (xyz) berarti tidak berbeda nyata uji nilai pembandingan BNT taraf 5% 126
42. Berat jagung pipilan pada berbagai perlakuan kadar air kapasitas lapang, isolat bakteri penghasil alginat dan biochar. Angka-angka yang di ikuti huruf yang sama pada baris (abc) uji b pada t dan a yang sama, kolom (pq) uji a pada t dan b yang sama dan kolom (xyz) uji t pada a dan b yang sama, berarti tidak berbeda nyata uji nilai pembandingan BNT taraf 5% 127
43. Produksi jagung pada perlakuan kadar air kapasitas lapang, isolat bakteri penghasil alginat dan biochar. Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada baris (abc) uji b pada t dan a yang sama, kolom (pq) uji a pada t dan b yang sama dan kolom (xyz) uji t pada a dan b yang sama, berarti tidak berbeda nyata uji nilai pembandingan BNT taraf 5% 128

DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
1.	Kerangka pikir penelitian	31
2.	Pertumbuhan isolat bakteri pada media Piskovkaya: A. terbentuk zona bening, B. tidak terbentuk zona bening.	38
3.	Kurva standar titrisol (PO ₄)	38
4.	Pertumbuhan isolat bakteri penghasil alginat pada media padat Burk-N bebas.	39
5.	Biochar hasil pirolisis 300-400°C dari: A. Cangkang kelapa sawit, B. Tandan kosong kelapa sawit dan C. Tongkol jagung Hasil pengayakan masing-masing biochar: D. Cangkang kelapa sawit, E. Tandan kosong kelapa sawit dan F. Tongkol jagung.	41
6.	Kurva kalibrasi standar metilen biru	45
7.	Kurva kalibrasi untuk kertas Whatman Grade 42 berdasarkan prosedur pengujian pembasahan berdasarkan ASTM D5298-10).	51
8.	Spektra gugus fungsi biomassa selulosa tertinggi yang dihasilkan oleh isolat bakteri KK1-40, JG2-3 dan JG1-28	61
9.	Kemampuan melarutkan fosfat isolat bakteri penghasil alginat berdasarkan konsentrasi disolusi fosfat yang diukur menggunakan spektrofotometer UV-VIS 693 nm.	63
10.	Kultur isolat bakteri penghasil alginat pada media Burk's N-bebas sebagai indikasi kemampuan menambat nitrogen	63
11.	Kemampuan fiksasi nitrogen isolat bakteri penghasil alginat berdasarkan kadar nitrogen yang dihasilkan	64
12.	Spektrum FTIR gugus fungsi permukaan biochar dari (CKS= cangkang kelapa sawit, TKS= tandan kosong kelapa sawit, (TJ) tongkol jagung, hasil pirolisis pada suhu 300-400°C.	71
13.	Perubahan porositas biochar berdasarkan parameter kisi (a,c) dan volume heksagonal: A. Cangkang kelapa sawit, B. Tandan kosong kelapa sawit, C. Tongkol jagung setelah ditambahkan isolat bakteri (KK1-40, KK3-32, LR1-25) setelah diinkubasi pada suhu 28°C selama 28 hari	77
14.	Perbandingan wilayah amorf dan kristal biochar cangkang kelapa sawit, tandan kosong kelapa sawit dan tongkol jagung hasil pirolisis pada kisaran suhu 300-400°C	78
15.	Perubahan area amorf dan kristal struktur biochar: A. Tongkol jagung, B. Tandan kosong kelapa sawit, C. Cangkang kelapa sawit setelah ditambahkan isolat bakteri penghasil alginat (KK1-40, KK3-32, LR1-25) dengan masa	

	inkubasi 28 hari pada suhu 28°C Luas permukaan biochar	80
16.	Luas permukaan biochar (cangkang kelapa sawit, tandan kosong kelapa sawit tongkol jagung), yang dibakar pada suhu 300- 400°C	81
17.	Grafik luas permukaan biochar setelah ditambahkan isolat bakteri penghasil alginat dan diinkubasi selama 28 hari pada suhu 28°C	82
18.	Retensi air tanah bertekstur liat yang diberi biochar (CKS= cangkang kelapa sawit, TKSS= tandan kosong kelapa sawit, TJ= tongkol jagung) yang dipengaruhi oleh tiga jenis isolate bakteri (A= KK1-40, B= KK3-32, C= LR1-25)	98
19.	Retensi air tanah bertekstur lempung berpasir yang diberi biochar (CK= cangkang kelapa sawit, TKSS= tandan kosong kelapa sawit, TJ= tongkol jagung) yang dipengaruhi oleh tiga jenis isolate bakteri (A= KK1-40, B= KK3-32, C= LR1-25).	102
20.	pH tanah liat pada berbagai interaksi antara kadar kapasitas lapang (100%,80%,60%), isolat bakteri (KK1-40, KK3-32 , LR1-25) dan biochar (cangkang kelapa sawit, tandan kosong kelapa sawit, tongkol jagung).	103
21.	Spektra XRD biochar (CKS= cangkang kelapa sawit, TKSS= tandan kosong kelapa sawit,dan TJ= tongkol jagung) hasil pirolisis pada suhu 300°C-400°C	157
22.	Ilustrasi struktur heksagonal biochar: A. cangkang kelapa sawit, B. tandan kosong kelapa sawit dan C. Tongkol jagung) berdasarkan pada nilai parameter kisi.	158
23.	Persentase distribusi agregat tanah liat yang dberi biochar (CKS=cangkang kelapa sawit, TKSS = tandan kosong kelapa sawi, TJ= tongkol jagung) dan isolat bakteri penghasil alginat (KK1-40, KK3-32, LR1-25).	173
24.	Persentase distribusi agregat tanah lempung berpasir yang dberi biochar (CKS=cangkang kelapa sawit, TKSS = tandan kosong kelapa sawi, TJ= tongkol jagung) dan isolat bakteri penghasil alginat (KK1-40, KK3-32, LR1-25).	178

DAFTAR TABEL LAMPIRAN

Nomor		halaman
1.	Analisis sidik ragam rata-rata pertumbuhan isolat bakteri penghasil alginat masa inkubasi 7 hari	256
2.	Analisis sidik ragam rata-rata pertumbuhan isolat bakteri penghasil alginat masa inkubasi 14 hari	256
3.	Analisis sidik ragam rata-rata pertumbuhan isolat bakteri penghasil alginat masa inkubasi 28 hari	256
4.	Analisis sidik ragam perlakuan jenis tanah, jenis isolat bakteri penghasil alginat dan jenis biochar terhadap kepadatan tanah bertekstur liat dan lempung berpasir	257
5.	Analisis sidik ragam perlakuan jenis tanah, jenis isolat bakteri penghasil alginat dan jenis biochar terhadap kerapatan partikel tanah (PD) bertekstur liat dan lempung berpasir	257
6.	Analisis sidik ragam perlakuan jenis tanah, jenis isolat bakteri penghasil alginat dan jenis biochar terhadap porositas bertekstur liat dan lempung berpasir	258
7.	Analisis sidik ragam perlakuan makroagregat tanah 2-1 mm	258
8.	Analisis sidik ragam perlakuan Mesoagregattanah 1 – 0,25 mm	259
9.	Analisis sidik ragam perlakuan mikroagregat tanah <0,25 mm.	259
10.	Analisis sidik ragam perlakuan jenis tanah, jenis isolat bakteri penghasil alginat dan jenis biochar terhadap Luas permukaan tanah bertekstur liat dan lempung berpasir	260
11.	Uji F pengaruh jenis tanah, isolat bakteri dan biochar cangkang kelapa sawit terhadap kemampuan retensi air tanah liat	260
12.	Uji F pengaruh jenis tanah, isolat bakteri dan biochar cangkang kelapa sawit terhadap kemampuan retensi air tanah l lempung berpasir	261

13.	Sidik Ragam status hara tanah setelah ditanami jagung hibrida	261
14.	Analisis sidik ragam kadar nitrogen daun tanaman jagung	262
15.	Analisis sidik ragam kadar fosfor daun tanaman jagung	262
16.	Analisis sidik ragam tinggi tanaman jagung umur 14 HST	263
17.	Analisis sidik ragam tinggi tanaman Jagung umur 35 HST	263
18.	Analisis sidik ragam tinggi tanaman jagung umur 49 HST	264
19.	Analisis sidik ragam jumlah daun tanaman jagung umur 14 HST	264
20.	Analisis sidik ragam jumlah daun tanaman jagung umur 35 HST	265
21.	Analisis sidik ragam jumlah daun tanaman jagung umur 49 HST	265
22.	Analisis sidik ragam luas daun tanaman jagung	266
23.	Analisis sidik ragam berat kering akar tanaman jagung	266
24.	Analisis sidik ragam berat kering tajuk tanaman jagung	267
25.	Analisis sidik ragam panjang tongkol tanaman jagung	267
26.	Analisis sidik ragam diameter tongkol tanaman jagung	268
27.	Analisis sidik ragam bobot tongkol tanpa kelobot tanaman jagung	268
28.	Analisis sidik ragam bobot 100 biji tanaman jagung	269
29.	Analisis sidik ragam jagung pipilan tanaman jagung	269
30.	Analisis sidik ragam produksi tanaman jagung	270

DAFTAR GAMBAR LAMPIRAN

Nomor		halaman
1.	Morfologi isolat bakteri penghasil alginat dari tiga jenis rhizosfer: A. lamtoro (<i>Leucaena leucocephala</i>), B. kakao (<i>Theobroma cacao</i>), C. jagung (<i>Zea mays</i>).	271
2.	Reaksi pewarnaan gram isolat bakteri penghasil alginat	272
3.	Reaksi hipersensitif tanaman tembakau (<i>Nicotiana tabacum</i>) pada 168 jam setelah infeksi dengan isolat bakteri alginat: (A) Kondisi daun segera setelah disuntikkan oleh suspensi isolat bakteri penghasil alginat (B) Reaksi negatif (-) tidak ada nekrotik gejala dan reaksi positif menunjukkan gejala infeksi nekrotik.	272
4.	Kondisi perakaran dan tanaman jagung pada KAKL 60% mengikuti keberadaan biochar didalam tanah: A,B. Akar pada perlakuan biochar tongkol jagung dan isolat KK1-40, C,D. Akar pada perlakuan biochar cangkang kelapa sawit dan isolat KK1-40.	273
5.	Panjang tongkol jagung pada setiap perlakuan kadar air kapasitas lapang, (A1=100%, A2=80%, A3=60%) isolat bakteri penghasil alginat (B1 = KK1-40, B2=KK3-32, B3= LR1-25 dan biochar (C1=cangkang kelapa sawit, C2= tandan kosong kelapa sawit, C3= tongkol jagung)	273

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar belakang

Sekitar 80% kebutuhan pangan dunia dihasilkan di lahan kering (FAO, 2011; FAO, 2016; FAO, 2017) dengan berbagai kendala, di antaranya resiko kekeringan dan status hara yang rendah. Dibutuhkan efisiensi pengelolaan air dan unsur hara yang tepat untuk mempertahankan produktivitas lahan kering yang tinggi (Molden, 2007). Curah hujan sebagai sumber air utama lahan kering sering tidak mencukupi kebutuhan tanaman dan tidak menentu (Xiao, et al., 2016). Sekitar 50% lahan kering telah mengalami degradasi dan kekeringan (Vinocur and Altman, 2005), mengakibatkan penurunan produksi pangan hingga 10% (Lesk, et al., 2016). Masalah ini bukan hanya terkait retensi air, akan tetapi juga efisiensi penggunaan air untuk tanaman (Lehmann and Joseph, 2009).

Target produktivitas lahan kering yang tinggi akan sulit dicapai tanpa teknologi pengelolaan air, sehingga diperlukan upaya perbaikan kondisi aktivitas ekosistem tanah agar mampu meretensi air dan memperbaiki status hara (Yan et al., 2015; Aller, et al. 2017; Günal et al., 2018; Wang, et al., 2019). Perbaikan lahan dapat dilakukan melalui penambahan bahan organik. Tanah dengan bahan organik tinggi memiliki kapasitas untuk menyimpan air dalam jumlah besar (FAO, 2015). Peningkatan kandungan C-organik tanah

sebesar 1%, akan meningkatkan 2% kandungan air tersedia di tanah (Cornelissen et al., 2013).

Residu pertanian merupakan sumber utama bahan organik berkelanjutan di dunia (Srivastava et al., 2020). Di Indonesia, limbah pertanian seperti tandan kosong dan cangkang kelapa sawit serta tongkol jagung belum dimanfaatkan secara maksimal sebagai sumber bahan organik (Nurhayati et al., 2015). Pada hal, biomassa ini terus dihasilkan dalam jumlah yang cukup besar. Indonesia memiliki luas perkebunan kelapa sawit terbesar di Asia, yakni 12,76 juta hektar dengan total produksi tandan buah segar sebesar 40,57 juta ton/tahun (BPS, 2019). Dari produksi ini, 90% adalah limbah (Mahmood et al., 2015). Dengan demikian, ada sekitar 36,51 juta ton limbah yang berpotensi sebagai sumber bahan organik, 23% dari tandan kosong kelapa sawit (9,33 juta ton/tahun) dan 5,5 % cangkang kelapa sawit (2,23 juta ton/tahun) (Ginting et al., 2015).

Lehmann (2007) melaporkan, bahwa biomassa yang diproses menjadi biochar akan menghasilkan 50% karbon. Berdasarkan hal tersebut, maka limbah kelapa sawit yang diproses dalam bentuk biochar, berpotensi menyediakan karbon sebesar 5,78 juta ton/tahun. Jika dimaksimalkan sebagai bahan amandemen tanah, maka ada sekitar 642 ribu ha lahan dapat ditambahkan karbon sebesar 9 ton. Young (1989) mengestimasi bahwa dibutuhkan bahan organik sebanyak 8-9 ton per tahun untuk memenuhi 2 persen C-organik tanah. Menurut Santi dan Goenadi (2010) bahwa biochar

cangkang kelapa sawit dapat meretensi air sebesar 25,30% lebih besar dari kompos (9.70%).

Selain limbah kelapa sawit, tongkol jagung juga berpotensi sebagai sumber bahan organik yang berkelanjutan. Luas panen jagung di Indonesia seluas 5.734.326 ha (BPS, 2018). Samanta et al. (2012) mengestimasi produksi tongkol jagung dalam satu hektar berkisar 1,42-1,53 ton. Tongkol jagung memiliki komposisi karbon sebanyak 74,80% (Ceranic et al., 2016). Artinya, tersedia tongkol jagung sebanyak 8.8 juta ton yang berpotensi menghasilkan karbon sebesar 6,6 juta ton per tahun. Apabila dimaksimalkan sebagai bahan pembenah tanah, maka jumlah ini dapat menambah bahan organik tanah sebesar 9 ton (Young, 1989) pada lahan seluas 729.177 ha.

Penggunaan bahan organik dalam bentuk biochar merupakan salah satu strategi dalam manajemen lingkungan pertanian. Berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa biochar meningkatkan kualitas tanah secara signifikan, seperti kapasitas menahan air, stabilitas agregat tanah dan retensi hara (Karhu et al., 2011; Burrell et al., 2016; Ma, et al., 2016; Domingues et al., 2017; Rawat et al., 2019). Biochar mampu memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah, sehingga dapat mendukung pertumbuhan tanaman (Enders et al., 2012; Zong et al., 2014; Isidoria et al., 2017), karena biochar dapat meningkatkan retensi air, fiksasi nitrogen dan efisiensi penggunaan air (Herath, et al., 2013; Peake, et al., 2014; Lehman and Joseph 2015) serta meningkatkan kandungan C-organik dan fosfat (Zhang et al., 2015; Gao et al., 2016). Selain itu, biochar dapat mengurangi evaporasi di lahan kering

(Wang et al., 2018), sehingga secara signifikan meningkatkan produksi jagung (Raj et al., 2018).

Pengaruh biochar terhadap perbaikan kualitas tanah dan produktivitas tanaman tergantung pada jenis tanah (Fan, et al., 2015), suhu pembakaran, jenis biomassa, dan interaksi biotik. Biochar diproduksi melalui pirolisis pada suhu 300-550°C dalam kondisi anaerob (Kavitha et al., 2018). Ini menghasilkan biochar lebih banyak (Collard and Blin, 2014), dan berkualitas tinggi sebagai bahan pembenah tanah (Tripathi et al., 2016).

Peningkatan stabilitas biochar sangat penting terkait afinitas dan persistennya sebagai bahan pembenah tanah. Stabilitas biochar ditentukan oleh tingkat kondensasi aromatik (Wiedemeier et al., 2015). Proporsi aromatik merupakan karakter kimia yang membedakan biochar dengan bahan organik, karena lebih menyatu dan stabil (Lehmann et al., 2011), sehingga lebih tahan terhadap degradasi dan persisten di dalam tanah (Lehmann et al., 2006). Namun demikian, penggunaan bahan baku dan suhu pirolisis yang berbeda menghasilkan karakter fisik dan kimia yang memengaruhi stabilitas biochar.

Selama ini, untuk meningkatkan stabilitas biochar dilakukan dengan cara menghilangkan zat volatil menggunakan bahan kimia seperti CO₂, HCl dan KOH (Foo and Hameed, 2012; Abioye and Ani, 2014; Dekhoda et al., 2016; Takaya et al., 2016; (Aller et al., 2017; Wang and Wang, 2019) dan dan suhu tinggi antara 500-800°C (Lempang et al., 2011b; Mahmood et al., 2015; Taylor and Hamza, 2015; Azlina et al., 2016; Hidayu and Muda, 2016).

Pada hal bakteri dapat mendegradasi fraksi volatil dan memanfaatkannya sebagai sumber energi. Proses ini dapat menghilangkan komponen alifatik dan volatil, sehingga meningkatkan volume pori dan luas permukaan (Keiluweit et al. 2010; Meng et al. 2013).

Berdasarkan hal tersebut, maka peningkatan stabilitas biochar dapat dilakukan melalui aktivasi biologi dengan menambahkan bakteri rhizosfer yang menghasilkan alginat. Karena bakteri ini dapat memengaruhi sifat fisik tanah seperti distribusi ukuran dan stabilitas agregat tanah. Bakteri mensekresikan zat perekat dalam bentuk polisakarida untuk membantu pembentukan agregat tanah (Mengistu et al., 2019). Karena itu, bakteri rhizosfer yang menghasilkan alginat berpotensi untuk meningkatkan efektivitas biochar meretensi air.

Alginat merupakan komponen penting eksopolisakarida (Chang et al., 2007) dengan berbagai struktur dan sifat yang berkaitan dengan biofilm (Wingender et al., 1999) dan dihasilkan oleh bakteri dalam bentuk polimer ekstraseluler (Ngumbi and Kloepper, 2016). Alginat disekresikan dalam dua tujuan, yakni sebagai biofilm dengan struktur yang tebal dan untuk pembentukan kista yang resisten terhadap kekeringan (Hay et al., 2013). Dengan demikian, proses ini dapat berkontribusi terhadap osmotoleran, sehingga bakteri mampu bertahan hidup pada cekaman kekeringan (Freeman et al., 2013; Ngumbi and Kloepper, 2016; Sá et al., 2019). Disisi lain, alginat yang dihasilkan oleh bakteri mampu mengikat hara melalui reaksi kimia (Costa et al., 2018), karena membentuk kompleks dengan kation

divalen, sehingga dapat mengikat mikronutrien (Cu, Mn, Mg, Fe, Ca) (Grant et al., 1973; Davis et al., 2003). Selain itu, dapat melindungi enzim nitrogenase dari oksigen dan meningkatkan fiksasi nitrogen (Sabra et al., 2000; Goh et al., 2012; Nosrati et al., 2012) sehingga berpotensi mengurangi input kimia dalam bidang pertanian (Etesami and Maheshwari, 2018).

Beberapa penelitian telah melaporkan manfaat penggunaan alginat polisakarida dalam bidang pertanian, antara lain meningkatkan produksi padi (Xu et al., 2003), menginduksi akar gandum (Zhang et al., 2013) dan mempengaruhi pertumbuhan akar selada (Iwasaki and Matsubara, 2000). Penelitian terbaru menemukan adanya pengaruh bakteri penghasil alginat terhadap pertumbuhan tanaman jagung di tanah bertekstur liat (Sukmawati et al., 2020), sehingga dapat digunakan sebagai pengatur pertumbuhan di bidang pertanian (Zhang et al., 2013).

Saat ini, bakteri yang memproduksi alginat sebagian besar diisolasi dari rumput laut (Chang et al., 2007; Lee and Mooney, 2012; Zhang et al., 2014), sebagian besar diperuntukkan untuk industri makanan dan farmasi (Szekalska et al., 2016). Pada hal bakteri rhizosfer memiliki kemampuan menghasilkan alginat (Sá et al., 2019). Selain itu, bakteri rhizosfer mampu memfiksasi nitrogen dan melarutkan fosfat (Etesami and Maheshwari, 2018), mineralisasi bahan organik menjadi nutrisi yang tersedia untuk tanaman (Yan et al., 2015). Namun, isolasi bakteri tanah yang menghasilkan alginat harus memiliki adaptasi tinggi terhadap lingkungan terbatas air. Pertanian lahan

kering dapat mengambil peran sebagai sumber inokulum yang memiliki daya adaptasi untuk penerapannya sebagai agen perbaikan lahan. Berbagai tipe penggunaan lahan dengan tanaman penutupan tanah yang berbeda-beda, dapat menghasilkan keragaman mikroba pada zona perakaran, dengan karakteristik yang berbeda. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengeksplorasi biochar yang berinteraksi dengan bakteri penghasil alginat untuk peningkatan produktivitas tanaman pangan di lahan yang bermasalah.

B. Rumusan masalah

Biochar memiliki potensi untuk mengubah hidrologi tanah dan dapat meningkatkan jumlah air yang tersimpan di dalam tanah. Namun kemampuannya dalam memperbaiki sifat-sifat tanah tergantung sifat fisikokimianya, morfologi berpori, dan fungsionalitas permukaan serta jenis tanah. Karakteristik ini sangat dipengaruhi oleh kondisi pembakaran dan sifat bahan baku. Tidak semua karakteristik ini mampu dipenuhi dalam satu proses pirolisis dengan satu jenis bahan baku, sehingga dalam penerapannya, biochar membutuhkan bahan penyerta untuk meningkatkan efektivitasnya.

Ada kelangkaan informasi mengenai mekanisme yang diperlukan dalam memprediksi karakteristik biochar yang ditambahkan bakteri yang memiliki pengaruh menguntungkan pada tanah dengan tekstur kontras dan bagaimana pengaruhnya pertumbuhan tanaman jagung. Misalnya, pemahaman terhadap bagaimana biochar dapat mempengaruhi retensi air,

khususnya setelah ditambahkan bakteri penghasil alginat. Ringkasnya, rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana potensi bakteri rhizosfer menghasilkan alginat yang sekaligus mampu melarutkan posfat dan menambat nitrogen?
2. Bagaimana sifat fisikokimia biochar tandan kosong kelapa sawit, cangkang kelapa sawit dan tongkol jagung pada pirolisis kisaran suhu 300-400°C dan modifikasi strukturnya setelah diaktivasi bakteri penghasil alginat?
3. Bagaimana pengaruh biochar dan bakteri penghasil alginat terhadap perbaikan retensi air tanah bertekstur kontras?
4. Bagaimana serapan hara dan produktivitas tanaman jagung pada tanah liat setelah ditambahkan biochar dan bakteri penghasil alginat?

C. Tujuan penelitian

Tujuan penelitian adalah:

1. Memperoleh isolat bakteri tanah yang mampu menghasilkan alginat, melarutkan posfat dan menambat nitrogen dari rhizosfer lamtoro, kakao dan jagung;
2. Mengkarakterisasi biochar untuk bahan pembenah tanah dari cangkang kelapa sawit, tandan kosong dan tongkol jagung menggunakan pirolisis pada kisaran suhu 300-400°C dan aktivasinya secara biologis untuk meningkatkan stabilitasnya d dalam tanah;

3. Mengkaji perbaikan retensi air pada tanah yang bertekstur kontras, setelah ditambahkan isolat bakteri penghasil alginat dan biochar; dan
4. Mengkaji serapan hara dan produktivitas tanaman jagung pada tanah bertekstur liat setelah ditambahkan isolat bakteri penghasil alginat dan biochar.

D. Manfaat penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Sebagai referensi cara pemanfaatan bakteri untuk peningkatan stabilitas biochar dalam memperbaiki retensi air.
2. Sebagai referensi cara pemanfaatan bahan organik yang lebih persisten dan mudah diterapkan oleh masyarakat
3. Sebagai referensi cara untuk mengatasi ketersediaan air bagi pertumbuhan tanaman pada tanah-tanah yang mudah mengalami pemadatan.
4. Sebagai referensi cara peningkatan serapan unsur N dan P pada penggunaan pupuk kimia sehingga tidak terakumulasi pada tanah.

E. Kebaruan

Kebaruan dari penelitian ini adalah:

1. Isolat bakteri tanah indigenous dari rhizosfer jagung, kakao dan lamtoro mampu menghasilkan alginat, sekaligus melarutkan posfat dan menambat nitrogen.

2. Metode modifikasi struktur biochar secara biologi menggunakan isolat bakteri penghasil alginat.
3. Teknologi perbaikan sifat fisik tanah yang berkaitan dengan retensi air tanah berbasis karbon dan biopolimer.
4. Teknologi budidaya jagung yang efisien dalam penggunaan hara berbasis karbon dan biopolimer.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Karakteristik fisik dan kimia biochar

Karakteristik fisik dan kimia merupakan konsep dasar produksi biochar yang ditentukan oleh jenis bahan baku dan proses saat pirolisis (Lehmann and Joseph, 2009; Enders et al., 2012; Sun et al., 2014). Hal ini sangat dibutuhkan agar penerapannya dapat disesuaikan dengan jenis tanah (Gul, et al., 2015). Biochar diproduksi melalui proses pirolisis menggunakan suhu antara 300-1000°C, tanpa oksigen (Verheijen, et al. 2010). Ini yang menyebabkan perbedaan karakteristik biochar seperti: pH, KTK, bahan volatil, adar abu, kandungan karbon, luas permukaan spesifik, dan porositas (Tomczyk et al., 2020).

Sifat fisik biochar seperti struktur dan porositas berkaitan dengan retensi air (Andrenelli et al., 2016; Liu et al., 2017), sedangkan luas permukaan dan gugus fungsi permukaan berkaitan dengan retensi hara (Githinji, 2014). Biochar memiliki kerangka karbon dengan struktur seperti spon (Kumari, 2015), yang membentuk pori makro (> 50µm), pori meso (2-50µm) dan pori mikro (<2µm). Pori mikro dapat mengurangi kehilangan air, meningkatkan KTK dan penyerapan unsur hara, karena meningkatkan luas permukaan biochar (Lehmann and Joseph, 2009). Selain itu, biochar memiliki porositas tinggi sehingga memiliki kepadatan curah yang rendah. Dengan

demikian, dapat mengurangi kepadatan tanah apabila ditambahkan dengan dosis yang tepat, (Laird, et al., 2010).

1. Pengaruh suhu terhadap karakterisasi fisikokimia biochar

Suhu pirolisis sangat berkorelasi dengan perubahan struktur dan sifat fisikokimia biochar (Asadullah et al., 2007; Jindo et al., 2014). Pirolisis biochar terdiri dari tiga tahap, yakni:

- a. Pirolisis pada kisaran suhu 200 °C, menyebabkan penguapan air dan zat volatil (Lee et al., (2017);
- b. Pirolisis pada kisaran suhu 200-500°C, menyebabkan penguraian terhadap hemiselulosa dan selulosa (Ding et al., 2014);
- c. Pirolisis pada suhu diatas 500°C, menyebabkan degradasi lignin dan bahan organik lain yang masih tersisa, sehingga terbentuk ikatan kimia yang kuat (Cárdenas- Aguiar et al., 2017).

Suhu pirolisis mempengaruhi karakteristik fisik biochar seperti luas permukaan, porositas (Das and Sarmah, 2015) dan volume pori melalui degradasi bahan organik (Li et al., 2013; Zhao et al., 2017), yang menyebabkan terbentuknya struktur amorf selama pirolisis (Zhao et al., 2017) dan membentuk mikropori (Vamvuka and Sfakiotakis, 2011). Ini terjadi karena, peningkatan suhu pirolisis menyebabkan degradasi kelompok hidroksil (Uchimiya et al., 2011; Zhang et al., 2015; Saletnik et al., 2019) yang menurunkan kandungan volatil (Zhao et al., 2017), tetapi, meningkatkan kandungan karbon (Chen et al., 2008; Uchimiya et al., 2011; Saletnik et al., 2019) hingga 62,2-92,4%, (Domingues et al., 2017), sehingga

struktur karbon menyatu dalam biochar (Lehmann and Joseph, 2009). Dengan demikian, menghasilkan banyak pori (Shaaban et al., 2014).

Dilain pihak, suhu juga berkorelasi positif dengan kadar abu, luas permukaan, karbon tetap dan struktur mikro, namun berkorelasi negatif dengan gugus fungsi permukaan, rata-rata ukuran pori dan zat volatil yang dihasilkan (Zhao et al., 2018). Penggunaan suhu pirolisis $\sim \leq 400^\circ\text{C}$, menghasilkan zat volatil yang tinggi dan mudah terurai (Robertson et al., 2012; Mukherjee and Zimmerman, 2013), gugus fungsi yang beragam (Gaskin et al., 2008; Novak et al., 2009) dan luas permukaan antara $<10 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ hingga $400 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ (Brown, 2009) dan KTK (Gaskin et al., 2008; Novak et al., 2009; Mukherjee et al., 2011; Song and Guo, 2012; Yao et al., 2012). Ini berkaitan dengan distribusi kelompok fungsional yang mengandung oksigen pada permukaan biochar, yang dipengaruhi oleh suhu (Das and Sarmah, 2015; Banik et al., (2018), seperti gugus fungsi karboksilat dan fenol yang bermuatan negatif (Mia et al., 2016).

Pirolisis suhu $300\text{-}400^\circ\text{C}$, menghasilkan biochar dengan karakter organik yang beragam, karena struktur alifatik dan selulosa (Glaser et al., 2002; Novak et al., 2009). Oligosakarida mendominasi biochar pada pirolisis hingga suhu 250°C , setelah itu fenol akan muncul pada suhu 290°C dan aromatik mulai terbentuk pada suhu $> 290^\circ\text{C}$ (Antal and Grønli, 2003; Tomczyk et al., 2020). Ini terjadi karena pirolisis menyebabkan terjadinya pemecahan dan penataan kembali ikatan kimia dalam biomassa, sehingga terbentuk gugus fungsi permukaan yang baru seperti karboksil, fenol dan eter

(Mia et al., 2016). Gugus fungsi hidrokarbon mencerminkan struktur karbohidrat selulosa dan hemiselulosa (Ghani et al., 2013). Struktur aromatik biochar meningkatkan resistensi terhadap dekomposisi mikroba (Xie et al., 2016). Gugus fungsi permukaan biochar bertindak sebagai pendonor dan akseptor electron, sehingga mempengaruhi pH dari asam hingga basa, atau dari hidrofilik hingga hidrofobik (Hammes and Schmidt, 2009; Ghani et al. 2013). pH biochar berkorelasi positif dengan suhu melalui pembentukan karbonat dan kandungan alkali organik (Ding et al. 2014), sehingga biochar bersifat alkali dengan kisaran pH 6,5-10,8 (Yuan et al. 2011).

Fraksi abu dihasilkan oleh konsentrasi kandungan bahan anorganik dan dan sisa pembakaran bahan organik (Cao and Harris, 2010; Zhao et al., 2017). Selama pirolisis, abu membentuk zat mineral dan tetap berada dalam biochar (Domingues et al. 2017).

2. Pengaruh biomassa terhadap karakteristik biochar

Biomassa dari limbah pertanian memiliki kadar air, kadar abu dan kepadatan curah yang tinggi (Jafri et al., 2018). Kandungan air dalam biomassa menghasilkan karakteristik fisikokimia yang berbeda (Tripathi et al., 2016), yang mencerminkan karakter bahan organik secara umum (Preston dan Schmidt, 2006), misalnya kandungan lignin dan selulosa memiliki pengaruh terhadap karakteristik biochar (Kloss et al., 2012), karena selama pirolisis, selulosa dalam biomassa membentuk tar, sedangkan lignin membentuk arang (Tripathi et al., 2016).

Perbedaan karakter kimia dihasilkan oleh aromatik dan tingkat kondensasi (Antal and Grønli, 2003). Ada dua fase karbon aromatik yang berbeda: 1) fase amorf yang terdiri dari cincin aromatik yang terorganisir secara acak, 2) fase kristal yang terdiri dari lembaran poliaromatik terkondensasi secara turbostratik (Keiluweit et al., 2010). Luasnya kedua fase ini sangat menentukan stabilitas karbon biochar terhadap degradasi di lingkungan (Lehmann et al., 2009; Singh et al., 2012).

Luas permukaan spesifik adalah salah satu sifat paling penting dari biochar dan tergantung pada jenis biomassa (Wang et al., 2015), karena biomassa yang memiliki fraksi volatil tinggi, akan menghasilkan banyak pori (Shaaban et al., 2014. (Wang et al., 2015). Zat volatil dan karbon tetap secara berbeda bergantung pada kadar abu jenis biomassa (Tag et al., 2016). Karena, faktanya fraksi folatil dan karbon mudah terbakar sehingga menurun dalam biomassa (Domingues et al., 2017).

Biomassa yang memiliki kadar abu yang tinggi dapat menghasilkan biochar dengan KTK yang lebih tinggi (Yang et al., 2015). Ini berhubungan dengan alkali yang menghasilkan gugus fungsi yang mengandung oksigen (Cely et al., 2015; Tag et al., 2016). Selain itu, sifat alkali biomassa juga mempengaruhi pH. pH dan KTK berkorelasi dengan lignin, hemiselulosa atau selulosa (Mukome et al., 2013; Ronsse et al., 2013), melalui reaksi polimerisasi atau kondensasi senyawa alifatik karena degradasi bahan organik (Zielińska et al., 2015).

Jenis bahan baku sangat penting terhadap penggunaan biochar sebagai amandemen tanah. Ini disebabkan karakteristik biochar dipengaruhi oleh bahan baku asli (Jindo et al., 2014). Ada perbedaan karakteristik kimia biochar cangkang kelapa sawit yang dibakar pada suhu rendah dengan suhu tinggi. Nurida (2014), melaporkan bahwa tempurung kelapa sawit yang dibakar pada suhu 250-350°C justru mendapatkan pH yang tinggi yakni 8,2 dengan persentase C-total 49,18% dan kapasitas memegang air sebesar 62,6%. Berbeda dengan hasil yang diperoleh (Santi, 2012), bahwa cangkang kelapa sawit yang dibakar pada suhu 500°C memiliki C-total 25,62% dengan kapasitas memegang air sebesar 25,3%. Hal ini berbeda dengan laporan (Hossain, et al., 2011), bahwa dengan suhu rendah menghasilkan biochar yang bersifat asam, sedangkan pada suhu tinggi yang dihasilkan alkali.

Karakteristik biochar dari tandan kosong kelapa sawit dilaporkan oleh (Mahmood et al., 2015) dengan menggunakan suhu pyrolysis 650-800°C menghasilkan karbon terikat yang sangat rendah yakni 3,4% dibandingkan dengan cangkang kelapa sawit sebesar 26,96%. Namun kapasitas adsorpsi biochar tandan kosong kelapa sawit lebih besar 35 m³/g dibandingkan dengan cangkang kelapa sawit hanya 10 m³/g. Di lain pihak biochar tongkol jagung hasil pirolisis 300°C memiliki karbon terikat sebesar 73,12%, zat volatil 20,02% dan kadar abu sebesar 5,87%. Namun mengalami perubahan pada pengikatan suhu 400°C (karbon terikat 71,21%, kadar abu 5,75% dan zat volatil 22,31%). Hal ini mengkonfirmasi bahwa kenaikan suhu pembakaran pada biochar tongkol jagung menurunkan karbon tetap dan

kadar abu, akan tetapi meningkatkan zat volatil (Iskandar and Rofiatin, 2017). Suhu pirolisis 400-450°C menaikkan pH dan karbon pada biochar tongkol jagung akan tetapi pengaruh signifikan terhadap luas permukaan diperoleh di atas suhu 400°C (Budai et al., 2014).

B. Mekanisme retensi air tanah dan hara makro

Status air tanah dijelaskan dengan dua cara, yakni: 1) kadar air tanah, yang menunjukkan berapa banyak air yang ada, dan 2) potensial matriks yang berhubungan dengan tingkat energi yang digunakan untuk menahan air di dalam tanah (Yan et al., 2015).

Faktor utama yang berpengaruh terhadap kapasitas menyimpan air adalah gugus fungsi permukaan, volume pori total, struktur porositas, dan luas permukaan spesifik (Pulido-Novicio et al., 2001). Luas permukaan dan porositas biochar keduanya menentukan retensi airnya, penyerapan kapasitas dan kimia permukaan termasuk KTK (Berek, 2014). Idealnya, total luas pori harus 50% dari volume tanah karena retensi air ditentukan oleh banyaknya volume air yang ditahan oleh pori mikro, sehingga menentukan kapasitas lapang (Sutono dan Nurida, 2012; Bikbulatova, et al 2018). Sistem pori tanah berfungsi sebagai jalur untuk mengangkut air, udara dan panas, dan sebagai habitat biota pada tanah, sehingga berpotensi mengendalikan dekomposisi bahan organik dalam tanah (Chen et al., 2015).

Ada dua cara di mana air tanah dapat terpengaruh oleh biochar, yakni : 1) secara langsung adalah biochar sebagai media keropos dapat menahan air di pori-pori, kemudian meningkatkan isi air tanah, dan 2) secara tidak

langsung adalah biochar akan mengikat konstituen tanah lainnya sehingga memperbaiki struktur tanah yang akan meningkatkan kapasitas tanah menyimpan air (Pulido-Novicio et al., 2001). Ukuran butir biochar berperan penting dalam penyimpanan air, kapasitas lapangan, titik layu permanen, dan ketersediaan air semua meningkat dengan ukuran partikel biochar (Liu et al., 2017).

Biochar yang sering digunakan berdiameter <2 mm. Ini karena, partikel kecil dapat mengisi pori-pori ruang dan berinteraksi dengan partikel anorganik tanah. Mencampur biochar dengan ukuran <2 mm dengan anorganik tanah yang sebagian besar memiliki ukuran partikel lebih kecil (misalnya, tanah liat) dapat meningkatkan ruang pori dan aliran air (Githinji, 2014). Novak et al., (2016) melaporkan bahwa biochar meningkatkan infiltrasi air awal dalam tanah yang dipadatkan. Pada tanah bertekstur halus, partikel biochar dapat meningkatkan infiltrasi air dan konduktivitas hidrolik dengan meningkatkan agregasi tanah, sehingga meningkatkan pori makro dan pergerakan air di tanah liat. Selain itu, air yang tersimpan pada titik layu permanen meningkat pada tanah yang ditambahkan biochar (Abel et al., 2013).

Selain karakter fisik, gugus fungsi permukaan biochar juga berperan penting dalam kapasitas retensi air. Mekanisme penyerapan air berkaitan dengan ikatan hidrogen yang melibatkan kelompok fungsional yang mengandung oksigen (Villegas-Jiménez et al., 2009). Karena pusat

penyerapan secara langsung terbentuk oleh ikatan hidrogen dengan oksigen pada permukaan biochar (Yenisoy-Karakaş et al., 2004).

Mekanisme hara tersedia bagi tanaman dipengaruhi oleh kandungan bahan organik tanah. Bahan organik dengan muatan negatif dapat memegang nutrisi bermuatan positif, sehingga tanah bisa menukar nutrisi dengan akar tanaman. Tanah dengan KTK rendah, tidak dapat mempertahankan nutrisi sehingga mengalami pencucian. Biochar mempertahankan nutrisi di dalam tanah secara langsung melalui muatan negatif gugus fungsi yang ada di permukaannya (Liang et al., 2006; International Biochar Initiative, 2015).

Retensi hara oleh biochar tergantung pada suhu pirolisis, jenis tanah, dosis dan kandungan air tanah (Ding, et al, 2016). Selain faktor tersebut, struktur, luas permukaan dengan muatan negatif mempengaruhi kemampuan retensi oleh biochar dengan menyerap kation dan zat organik (Liang et al., 2006). Oksidasi permukaan dari biochar menghasilkan proliferasi permukaan gugus karboksil dan peningkatan kemampuan untuk penyerapan kation (Cheng et al., 2008).

Penambahan biochar secara signifikan meningkatkan N-total hingga 7%, C- organik hingga 69% (Laird, et al, 2010). Hal ini dapat menurunkan permintaan pupuk N untuk pertumbuhan tanaman (Zheng, et al., 2013). Kopolimer dari biochar yang melapisi urea meningkatkan efektivitas penggunaan pupuk (Chen et al., 2018). Selain itu biochar meningkatkan P

terlarut yang diduga karena terjadinya mineralisasi oleh mikroba tanah (Bu, et al, 2017).

C. Pengaruh biochar terhadap sifat tanah

Pengaruh biochar pada fungsi tanah ditentukan oleh karakteristik biochar seperti komposisi kimia, gugus fungsi, dan porositas serta mekanisme stabilisasi fisik dan kimia biochar di tanah, karena berinteraksi secara fisik dengan fraksi tanah (Verheijen, et al. 2010). Interaksi terjadi melalui gaya *van der Waals* dan interaksi hidrofobik antar sub molekul dengan partikel liat dan bahan organik tanah (Zhou et al., 2018), sehingga mempengaruhi sifat fisikokimia tanah, karena terjadi interaksi anion, kation dan senyawa organik lainnya di dalam tanah (Zhu et al., 2017). Interaksi ini sangat spesifik karena dipengaruhi oleh jenis bahan baku dan kondisi pirolis biochar (Janus et al. 2015; Verheijen et al. 2010). Karena itu, aplikasi biochar memiliki pengaruh terhadap kapasitas retensi air tanah, KTK (Alburquerque et al., 2014), kepadatan tanah (Cabeza et al., 2018), dan luas permukaan spesifik (Tomczyk et al., 2020). Keberhasilannya sebagai amandemen tanah ditentukan oleh jenis tanah (Enders et al., 2012).

Produksi biochar dapat disesuaikan dengan kondisi pH tanah di lahan pertanian. Karena pH tanah dapat berubah dari asam menjadi basa setelah ditambahkan biochar (Ding, et al., 2016). Keberadaan gugus fenolik, karboksil dan hidroksil yang bermuatan negatif pada permukaan biochar mempengaruhi pH tanah. pH alkali biochar mengikat ion H^+ dari larutan

tanah, sehingga mengurangi konsentrasinya dan meningkatkan pH (Chintala et al., 2014).

Aplikasi biochar mengurangi kepadatan tanah sebesar 3 hingga 31% dengan rata-rata penurunan sebesar 12%, (Omondi et al., 2016). Pada tanah yang bertekstur kasar sebesar 14.2% dan bertekstur halus sebesar 9.2% (Liu et al., 2016). Penurunan kepadatan tanah terjadi secara linear dengan penambahan biochar (Głęb, et al., 2016). Mekanisme penurunan kepadatan tanah dipengaruhi oleh dua hal, yakni kepadatan biochar lebih rendah ($<0,6 \text{ g cm}^{-3}$) dari pada tanah ($\sim 1,25 \text{ g cm}^{-3}$) dan pengurangan kepadatan massal melalui interaksi dengan partikel tanah, sehingga terjadi peningkatan agregasi dan porositas. Namun, pengaruhnya tergantung pada tingkat aplikasi biochar dan jenis tanah (Liu et al., 2016). Massa kerapatan tanah menurun melalui penambahan biochar, terutama pada tingkat aplikasi tinggi, karena kepadatan tanah lebih rendah dibandingkan dengan partikel mineral (Albuquerque et al., 2014, Berek, 2014). Dengan demikian memperbaiki struktur agregat tanah yang meningkatkan porositas total dan makropori tanah, sehingga kadar air meningkat pada tekanan hisap yang rendah (Lei and Zhang, 2013). Biochar mempengaruhi agregat tanah melalui interaksi dengan bahan organik tanah, mineral dan mikroorganisme. KTK tinggi membuat biochar lebih efektif sebagai agen pengikat untuk bahan organik dan mineral membentuk makroagregat (et al., 2010). Biochar dapat meningkatkan porositas tanah dengan (i) mengurangi kerapatan curah

tanah, (ii) meningkatkan agregasi tanah, (iii) berinteraksi dengan partikel tanah mineral, dan (iv) mengurangi pemadatan tanah (Blanco-canqui, 2017).

Sifat fisikokimia biochar bertanggung jawab atas perubahan karakter tanah seperti pH, retensi hara, dan retensi air. Ini dapat menginduksi respon heterogen pada spesies mikroba. Respon ini mengakibatkan perubahan struktur komunitas mikroba, yang akan mengubah elemen tanah (Biederman and Stanley, 2013).

D. Interaksi biochar dengan bakteri

Inokulan mikroba dapat mendaur ulang dan meningkatkan kandungan hara di lahan pertanian, sehingga dapat mengatur kesuburan tanah dan tanaman. Dengan demikian, dapat mengurangi cekaman abiotik bagi tanaman (Sahu et.al., 2019). Karena itu, keragaman mikroba dengan berbagai aktivitasnya berperan dalam transfer nutrisi yang efisien untuk tanaman dan retensi nutrisi yang lebih besar di tanah (Gul et al., 2015).

Dilain pihak, biochar memiliki pengaruh terhadap kelimpahan mikroba (Lehmann et al., 2011). Pori-pori biochar memainkan peran penting sebagai habitat pelindung dan sekaligus dimanfaatkan sebagai sumber karbon. Dengan demikian, dapat mendukung populasi mikroba dan aktivitasnya di dalam tanah (Kolb et al., 2009). Peningkatan kelimpahan mikroba terjadi setelah terserap ke permukaan biochar, melalui daya tarik hidrofobik, kekuatan elektrostatis dan pembentukan endapan (George and Davies, 1988). Tingkat perlekatan mikroba ditentukan oleh luas permukaan biochar,

sedangkan struktur pori menjadi tempat perlindungan bagi mikroba tanah (Jaafar et al., 2015).

Selain itu, interaksi biochar dengan bakteri dapat terjadi melalui degradasi bahan organik, transfer elektron secara ekstraseluler langsung antara bahan organik, mineral tanah dan sel mikroba, atau transfer elektron secara intraspesifik langsung antara sel-sel bakteri (Fang et al., 2014). Fraksi volatil merupakan komponen biochar yang berperan penting dalam siklus bahan organik dan unsur nitrogen, fosfat dan sulfur di dalam tanah. Hal ini membuat biochar mampu mempengaruhi aktivitas mikroba, bahkan dapat merestrukturisasi komunitas bakteri tanah, mengubah aktivitas enzim yang menjadi katalis pada berbagai proses biogeokimia (Paz-Ferreiro et al., 2014). Dengan demikian, biochar memiliki efek positif bagi tanah dan mikroba, sehingga dapat dijadikan agen perbaikan tanah (Zhu et al., 2017).

Bakteri melekat dan memanfaatkan nutrisi di permukaan biochar, sehingga variasi luas permukaan partikelnya akan mempengaruhi kebutuhan mikroba terhadap air dan nutrisi (Lehmann et al., 2011). Mineralisasi atau oksidasi biochar itu sendiri dipengaruhi oleh perubahan sifat mikroba. Namun, proses ini bergantung pada beberapa aspek, termasuk jumlah sumber karbon yang tersedia, penyerapan C-organik, degradasi mudah, bioaktif biochar yang ada, atau efeknya pH dan bahan fenolik pada komunitas mikroba (Liang et al., 2010). Bakteri mampu tumbuh pada media biochar selama 3-9 bulan. Kapasitas menahan air yang cukup tinggi memungkinkan terjaganya kelembaban bahan pembawa sehingga

menciptakan daya dukung lingkungan untuk perkembangbiakan sel bakteri (Santi dan Gunadi 2010).

E. Peran bakteri penghasil alginat terhadap retensi air dan hara tanah

Bakteri penghasil alginat merupakan bakteri potensial yang dapat mempengaruhi retensi hara dan air di dalam tanah. Kandungan alginat yang dihasilkan oleh bakteri berperan untuk mengikat nitrogen (Nosrati et al., 2012). Selain itu, bakteri mampu beradaptasi terhadap kekeringan (Schimel et al., 2007) dengan memproduksi eksopolisakarida yang disekresikan dalam bentuk biofilm untuk menjaga kelembabannya. Alginat yang dihasilkan oleh bakteri mewakili contoh beberapa polisakarida ekstraseluler (Wingender et al., 1999) yang digunakan oleh bakteri sebagai virulensi (Willis et al., 2001) dan perlindungan terhadap nitrogenase dari oksigen, sehingga berperan dalam peningkatan fiksasi nitrogen (Sabra et al., 2000). Beberapa penelitian telah melaporkan bahwa alginat oligosakarida mampu meningkatkan hasil panen pada padi (Xu et al. 2003), menginduksi akar tanaman gandum (Zhang et al. 2013) selada (Iwasaki and Matsubara, 2000), dan mempengaruhi pertumbuhan tanaman jagung pada tanah bertekstur liat (Sukmawati et al., 2020), sehingga dapat digunakan sebagai pengatur pertumbuhan di bidang pertanian (Zhang et al. 2013).

Penggunaan alginat sebagai polimer alami terkait dengan sifat stabilisasi, viskositas, pembentukan gel, dan kemampuan menahan air. Gel dari alginat membentuk ion kompleks dengan kation divalen (Davis et al., 2003), sehingga memiliki permukaan yang lebih luas. Karena itu alginat

memiliki kemampuan menyerap air yang kuat dan kapasitas potensial yang kompleks. Ini dapat memperkuat bahan anorganik seperti tanah liat (Barreca et al., 2014). Gugus karboksilat dari alginat dapat memberikan muatan negatif yang dapat berikatan secara ionik dengan yang bermuatan positif (Noviyanti, 2018.)

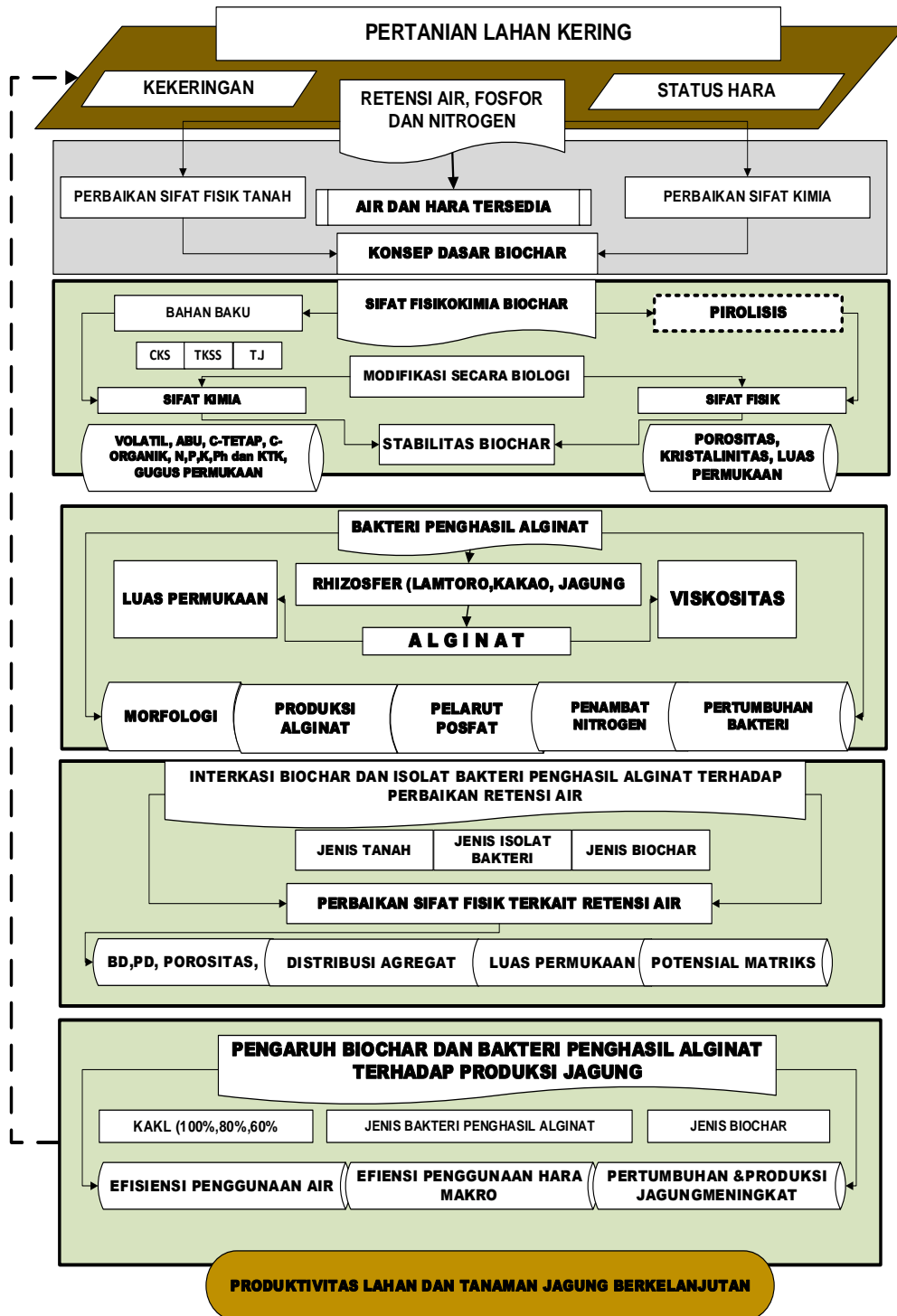
Alginat diproduksi oleh *Azotobacter vinelandii* dan *Pseudomonas spp.* sebagai polimer ekstraselular. Dua genera bakteri mensekresikan alginat dengan tujuan yang berbeda. *Pseudomonas aeruginosa* dapat mensekresikan alginat untuk pembentukan biofilm tebal yang sangat terstruktur sedangkan *Azotobacter* menghasilkan alginat yang kaku tetap terkait dengan sel dan memungkinkan pembentukan kista resist pengeringan (Hay, et al., 2013). Bakteri ini adalah bakteri gram negatif yang mampu memfiksasi nitrogen secara langsung dari atmosfer. Peningkatan fiksasi nitrogen bergantung pada jumlah alginat yang dihasilkan (Nosrati et al., 2012).

Disisi lain, bakteri yang mengkolonisasi rizosfer memiliki kemampuan untuk membebaskan fosfat organik dan melarutkan fosfat anorganik yang tidak larut seperti trikalsium fosfat, dikalsium fosfat, hidroksiapatiti dan fosfat batuan (Sharma, et al., 2013). Kelompok bakteri pelarut fosfat yang banyak terdapat pada lahan pertanian di Indonesia berasal dari genus *Enterobacter* dan *Mycobacterium* (Ginting et al., 2006). Umumnya pertumbuhan kelompok bakteri optimum pada pH sekitar netral dan meningkat seiring dengan

meningkatnya pH tanah. Pelepasan fosfat akan meningkat dengan meningkatnya nilai pH dari asam ke netral.

Asam organik dapat meningkatkan ketersediaan P di dalam tanah dengan cara anion organik bersaing dengan ortofosfat pada permukaan tapak jerapan koloid tanah yang bermuatan positif, sehingga memperbesar peluang ortofosfat dapat diserap oleh tanaman (Ginting et al., 2006). Bakteri menyediakan posfat terlarut bagi tanaman, sebaliknya tanaman menyediakan senyawa karbon, seperti gula dan asam organik untuk pertumbuhan bakteri.

E. Kerangka pikir penelitian



Gambar 1. Kerangka pikir penelitian

G. Hipotesa penelitian

Hipotesa penelitian adalah sebagai berikut:

- a. Terdapat satu atau lebih bakteri unggul dari rhizosfer jagung, kakao dan lamtoro yang mampu menghasilkan alginat, melarutkan fosfat dan menambat nitrogen
- b. Terdapat satu atau lebih biochar dari limbah tanaman yang memiliki karakteristik fisikokimia yang sesuai untuk amandemen tanah hasil pirolisis 300°-400°C
- c. Terdapat satu atau lebih isolat bakteri yang mampu mengaktivasi permukaan biochar menjadi lebih aromatik
- d. Terdapat satu atau lebih kombinasi perlakuan biochar dan bakteri penghasil alginat yang berpengaruh berbeda terhadap perbaikan sifat fisik tanah terkait retensi air.
- e. Terdapat satu atau lebih kombinasi perlakuan yang berpengaruh berbeda terhadap efisiensi penggunaan air, serapan hara dan produktivitas jagung.