

LIGNIN SEBAGAI *BARRIER AGENT* PADA BIOKOMPOSIT *CONTROLLED-RELEASE FERTILIZER*: KAJIAN META-ANALISIS DAN VALIDASINYA

SAVIRA ASTRI ADRIANA



**TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
Bogor Indonesia

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Lignin sebagai *Barrier Agent* pada Biokomposit *Controlled-Release Fertilizer*: Kajian Meta-Analisis dan Validasinya” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum 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 di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2024

Savira Astri Adriana
F3501211025

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



RINGKASAN

SAVIRA ASTRI ADRIANA. Lignin sebagai *Barrier Agent* pada Biokomposit *Controlled-Release Fertilizer*: Kajian Meta- Analisis dan Validasinya. Dibimbing oleh FARAH FAHMA, TITI CANDRA SUNARTI, dan ANURAGA AYANEGARA.

Peningkatan pesat dalam pertumbuhan penduduk telah menyebabkan tingginya permintaan akan pangan. Penggunaan pupuk yang efisien sangat penting untuk produktivitas pertanian. Pupuk urea konvensional memiliki kelemahan mudah untuk ikut tercuci ke lingkungan dan melepaskan gas berbahaya yang dapat berdampak pada aspek lingkungan, ekonomi, dan sosial. *Controlled-release Fertilizer* (CRF) merupakan solusi untuk mengatasi masalah tersebut karena dapat meningkatkan penyerapan nitrogen oleh akar tanaman, meningkatkan hasil pertanian, dan mengurangi pencemaran lingkungan.

CRF diproduksi dengan membuat komposit yang terdiri dari pupuk urea, matriks polimer, dan bahan pengisi. Polimer sintetis yang umum digunakan sebagai matriks CRF, akan tetapi, polimer ini memiliki harga tinggi, dampak lingkungan yang negatif, dan proses kimianya yang mahal. Biopolimer berbasis biomassa pertanian merupakan alternatif yang digunakan sebagai pengganti polimer sintetis dalam formulasi CRF.

Lignin, polimer alam terbanyak kedua setelah selulosa, memiliki potensi besar untuk diolah menjadi produk baru bernilai tinggi. Penelitian tentang CRF dengan lignin sebagai *barrier agent* sangat menarik karena sifat pelepasannya yang lambat dan potensi aplikasinya sebagai pengkondisi tanah, dan agen pelepasan terkendali dalam pupuk. Telah banyak studi yang membahas biokomposit berbasis lignin dalam produksi sebagai *barrier agent* pada biokomposit CRF. Belum terdapat kesimpulan kuantitatif mengenai pengaruh sumber lignin, jenis lignin, jenis matriks biopolimer, dan metode pembuatan CRF terhadap pelepasan nitrogen dalam CRF. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh lignin, sumber lignin, jenis lignin, jenis matriks, dan metode pembuatan biokomposit CRF terhadap karakteristik CRF dalam pelepasan nitrogen menggunakan meta-analisis dan validasi laboratorium. Tujuan khusus penelitian ini adalah mengidentifikasi karakteristik pelepasan nitrogen pada model biokomposit CRF yang dihasilkan dari hasil meta-analisis melalui uji laboratorium.

Studi ini dilaksanakan dengan dua tahapan, yaitu melakukan kajian meta-analisis dan validasi dengan uji laboratorium. Pada tahap meta-analisis, prosedur *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis* (PRISMA) dilakukan untuk memperoleh artikel yang digunakan untuk meta-analisis. Sebanyak 27 artikel akhirnya terpilih untuk dikaji meta-analisis. Perangkat lunak *OpenMEE* digunakan untuk pemrosesan data. Keluaran utama dari meta-analisis ini adalah *effect size*, yang disajikan sebagai *Standardized Mean Difference* (SMD). Metode Hedges'd dengan *random effect model* digunakan untuk menentukan *effect size*, yang mengukur perbedaan antara CRF yang mengandung lignin dan CRF tanpa lignin (kontrol) pada skala yang sama, yang memungkinkan perbandingan langsung hasil dari studi yang berbeda. Dilakukan analisis subgrup, meta-regresi, dan bias publikasi untuk melengkapi hasil meta-analisis.

Nilai *effect size* (SMD) digunakan untuk mengukur perbedaan rata-rata terstandar yang dikumpulkan menggunakan *random effect model* pada interval kepercayaan 95%. Hasil dari meta-analisis menunjukkan bahwa penambahan lignin dapat menurunkan pelepasan nitrogen (SMD = -5,603, $p = <0,001$), menurunkan penyerapan air (SMD = -3,110, $p = <0,001$), meningkatkan sudut kontak (SMD = 0,159, $p = 0,639$), meningkatkan daya ikat air (SMD = 1,492, $p = 0,001$), dan pertumbuhan tanaman (SMD = 3,572, $p = <0,001$). Pada analisis subgrup, ditemukan bahwa sumber lignin, jenis lignin, jenis matriks biokomposit, dan metode pembuatan CRF secara signifikan menurunkan nilai pelepasan nitrogen dibandingkan dengan kelompok kontrol, yaitu CRF tanpa lignin. Pada analisis subgroup, didapatkan bahwa CRF yang signifikan dalam menghambat pelepasan nitrogen adalah dengan sumber lignin ampas tebu, jenis lignin esterifikasi, jenis matriks elastomer, dan metode pembuatan secara *coating*. Analisis meta-regresi menunjukkan bahwa penambahan kadar lignin pada CRF berpengaruh nyata terhadap parameter pelepasan nitrogen ($p = 0,009$), penyerapan air ($p = <0,001$), dan penyerapan air ($p = 0,015$). Hasil analisis meta-regresi menunjukkan bahwa konsentrasi lignin optimum dalam produksi CRF adalah 43,049%.

Tahap uji validasi hasil meta-analisis di laboratorium dilakukan dengan memproduksi model produk berdasarkan hasil meta-analisis dan melakukan karakterisasinya. CRF dibuat dengan melapisi urea granul dengan karet alam, karet alam-lignin, dan karet alam-lignin ester, yang masing-masing disebut sebagai U-NR, U-NRPL, U-NRAL. Hasil uji pelepasan nitrogen CRF di medium tanah menunjukkan bahwa U-NRPL dan U-NRAL mempunyai karakteristik pelepasan nitrogen pada tanah yang lebih lambat, yaitu masing-masing masih tersisa 81% dan 83% pada jam ke 168 dibandingkan U-NR yang tersisa 88%. Pelepasan nitrogen yang lambat dari U-NRAL, model produk hasil meta-analisis, menunjukkan skema difusi Fickian yang ditunjukkan dari perhitungan model Korsmeyer-Peppas. Dari hasil uji validasi tersebut, dapat diketahui bahwa penambahan lignin berpengaruh dalam menghambat pelepasan nitrogen dibandingkan dengan kontrol. Hal tersebut berkenaan dengan tervalidasinya hasil meta-analisis yang ditunjukkan dari hasil uji laboratorium. Hasil kajian meta-analisis dan validasinya ini dapat menjadi acuan untuk pengembangan biokomposit CRF berbasis lignin dalam skala industri untuk dimanfaatkan dalam bidang pertanian secara luas.

Kata kunci: Lignin, matriks biokomposit, meta-analisis, pupuk lepas terkendali, urea

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



SUMMARY

SAVIRA ASTRI ADRIANA. Lignin as Barrier Agent in Controlled-Release Fertilizer Biocomposite: A Meta-Analysis Study and Validation. Supervised by FARAH FAHMA, TITI CANDRA SUNARTI, dan ANURAGA JAYANEGARA.

The rapid increase in population growth has led to a high demand for food. Efficient use of fertilizers is essential for agricultural productivity. However, conventional urea fertilizers easily leach into the environment and release harmful gases, resulting in environmental, economic, and social impacts. Controlled-release fertilizers (CRFs) solve these problems by increasing nitrogen absorption by plant roots, enhancing agricultural yields, and reducing environmental pollution.

CRFs are produced by creating a composite of urea fertilizer, a polymer matrix, and a filler. Synthetic polymers are commonly used as CRF matrices. However, these polymers are costly, environmentally detrimental, and involve expensive chemical processes. Agricultural biomass-based biopolymers present an alternative to synthetic polymers in CRF formulations.

Lignin, the second most abundant natural polymer after cellulose, has excellent potential to be processed into high-value products. Research on CRFs using lignin as a barrier agent is promising due to its slow-release properties and potential applications as soil conditioners and controlled-release agents. Numerous studies have examined lignin-based biocomposites as a barrier agent in CRF biocomposites. However, there has been no quantitative conclusion regarding the effect of lignin source, lignin type, biopolymer matrix type, and CRF manufacturing method on nitrogen release in CRFs. Therefore, this study aims to evaluate the effects of lignin source, lignin type, matrix type, and CRF biocomposite manufacturing method on CRF characteristics, particularly nitrogen release, using meta-analysis and laboratory validation. The specific objective of this study was to identify the characteristics of nitrogen release in CRF biocomposites resulting from meta-analysis through laboratory tests.

The study was carried out in two stages: conducting a meta-analysis and validation through laboratory tests. In the meta-analysis stage, the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) procedure was employed to select articles for meta-analysis. A total of 27 articles were finally selected for meta-analysis. OpenMEE software was used for data processing, with the primary output being the effect size, presented as the Standardized Mean Difference (SMD). The Hedges'd method with a random effect model was used to determine the effect size, which measures the difference between lignin-containing CRF and lignin-free CRF (control) on the same scale, allowing direct comparison of results from different studies. Additionally, subgroup analysis, meta-regression, and publication bias assessments were performed to complement the meta-analysis results.

The effect size (SMD) was used to measure the pooled standardized mean difference using a random effects model at a 95% confidence interval. The meta-analysis results indicated that the addition of lignin could reduce nitrogen release (SMD = -5.603, $p < 0.001$), decrease water absorption (SMD = -3.110, $p < 0.001$), increase contact angle (SMD = 0.159, $p = 0.639$), enhance water retention capacity (SMD = 1.492, $p = 0.001$), and promote plant growth (SMD = 3.572, $p < 0.001$).

Subgroup analysis revealed that the lignin source, lignin type, biocomposite matrix type, and CRF manufacturing method significantly reduced nitrogen release compared to the control group, which is lignin-free CRF. Specifically, the subgroup analysis showed that bagasse lignin as a lignin source, esterified lignin as a lignin type, elastomer as a matrix, and coating manufacturing methods were the most effective in inhibiting nitrogen release. Meta-regression analysis demonstrated that the lignin content in CRF significantly affected nitrogen release ($p = 0.009$), water absorption ($p < 0.001$), and water binding capacity ($p = 0.015$). The optimal lignin concentration in CRF production was determined to be 43.049%.

In the validation test stage, CRFs were produced by coating urea granules with natural rubber, natural rubber-lignin, and natural rubber-esterified lignin, respectively referred to as U-NR, U-NRPL, and U-NRAL. The nitrogen release test in soil showed that U-NRPL and U-NRAL exhibited slower nitrogen release characteristics, with 81% and 83% nitrogen remaining after 168 hours, compared to 88% for U-NR. The slow nitrogen release from U-NRAL, the product model derived from the meta-analysis, followed a Fickian diffusion scheme as indicated by the Korsmeyer-Peppas model. The validation test confirmed that the addition of lignin inhibited nitrogen release, aligning with the meta-analysis results. This meta-analysis and validation study provides a reference for developing lignin-based CRF biocomposites for industrial-scale applications in agriculture.

Keywords: Biocomposite matrix; controlled-release fertilizer; lignin; meta-analysis; urea

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2024
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



LIGNIN SEBAGAI *BARRIER AGENT* PADA BIOKOMPOSIT *CONTROLLED-RELEASE FERTILIZER*: KAJIAN META-ANALISIS DAN VALIDASINYA

SAVIRA ASTRI ADRIANA

Tesis

sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Teknik pada
Program Studi Teknik Industri Pertanian

**TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Judul Tesis : Lignin sebagai *Barrier Agent* pada Biokomposit *Controlled-Release Fertilizer*: Kajian Meta-Analisis dan Validasinya
Nama : Savira Astri Adriana
NIM : F3501211025

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Farah Fahma, S.TP, M.T. _____

Pembimbing 2:
Prof. Dr. Ir. Titi Candra Sunarti, M.Si. _____

Pembimbing 3:
Prof. Dr. Anuraga Jayanegara, S.Pt., M.Sc. _____

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Illah Sailah, M.S.
NIP. 195805211982112001 _____

Dekan Fakultas Teknologi Pertanian:
Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M.Agr.
NIP. 196105021986031002 _____

Tanggal Ujian:
13 Agustus 2024

Tanggal Lulus:

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Juli 2022 sampai bulan Juli 2024 ini ialah biokomposit, dengan judul “Lignin sebagai *Barrier Agent* pada Biokomposit *Controlled-Release Fertilizer*: Kajian Meta- Analisis dan Validasinya”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Dr. Farah Fahma, S.TP, M.T., Prof. Dr. Ir. Titi Candra Sunarti, M.Si., dan Prof. Dr. Anuraga Jayanegara, S.Pt., M.Sc. yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Prof. Dr. Ir. Moh. Yani, M.Eng. sebagai moderator ujian tesis dan Dr. Drs. Purwoko, M.Si. sebagai penguji luar komisi pembimbing. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada staf Laboratorium Teknologi Kimia (khususnya kepada Dr. Rini Purnawati, S.TP., M.Si. dan Mbak Suci Rahmawati), Laboratorium Dasar Ilmu Terapan (Ibu Egnawati Sari dan Ibu Suherti), dan Laboratorium Pengawasan Mutu (Bu Dyah Purnawati, S.Si), Laboratorium Bioindustri (Pak Edi Sumantri), dan Laboratorium TSI (Bu Sri Martini S.Kom, M.Si.) yang telah banyak membantu dalam proses penelitian dari ketersediaan bahan, pengujian sampel, hingga pengumpulan data.

Secara khusus, ungkapan terimakasih juga disampaikan kepada keluarga tersayang alm. papa Kusriantono, mama Agusriani Harahap, suami RM Muhammad Nur Fauzan, bapak mertua RM Dhanurwendho dan ibu mertua Susilawati, serta adik-adik (Aura Sukma Andini, Meisya Kustri Ariani, dan RM Annisa Nur Ramadhani) serta seluruh keluarga besar yang telah memberikan dukungan doa dan kasih sayang tanpa batas hingga penulis menyelesaikan studinya dengan baik. Tak lupa juga saya mengucapkan terimakasih kepada teman-teman seperjuangan TIP 2021 (Rahmadanis, Aufa Nisrina Fadhila, Dwi Anggraini, Afrinal Firmanda, Syarifah Fauziah Alawiah, Prasetyo Hadi Utomo, Mbak Esti Mega Maulidayanti), teman seperbimbingan (Bu Ika Atsari Dewi, Fery Haidir, Muhammad Fayza Fardiansyach), teman seperjuangan di laboratorium (Bu Yeni Sulastri, Mbak Ziedal Mafaaz FE, Mbak Amalia Afifah, Agis Triono), serta teman seperjuangan lainnya atas support, semangat, dan kehadiran mereka yang menemani saya dalam menyelesaikan tesis ini.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2024

Savira Astri Adriana



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
1.6 Hipotesis	3
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Lignin	4
2.2 Pupuk Lepas Terkendali (<i>Controlled-Release Fertilizer (CRF)</i>) dengan Lignin sebagai <i>Barrier Agent</i>	5
2.3 Meta-analisis	8
III METODE	10
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	10
3.2 Pendekatan Penelitian	10
3.3 Kerangka Pemikiran	10
3.4 Alat dan Bahan	10
3.5 Prosedur Kerja	11
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	16
4.1 Kajian Meta-Analisis	16
4.2 Validasi Hasil Meta-Analisis Melalui Uji Laboratorium	37
V SIMPULAN DAN SARAN	48
5.1 Simpulan	48
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	57
RIWAYAT HIDUP	71

DAFTAR TABEL

1	Penelitian mengenai biokomposit CRF/SRF dengan lignin sebagai <i>barrier agent</i>	6
2	Data sumber studi meta-analisis	17
3	Analisis <i>overall effect size</i> (SMD) dan heterogenitas pada karakteristik CRF	20
4	Rangkuman parameter dan subgroup dalam kajian meta-analisis	21
5	Analisis subgroup sumber lignin terhadap karakteristik pelepasan nitrogen pada CRF	22
6	Analisis subgroup sumber lignin terhadap karakteristik sudut kontak dan penyerapan air pada CRF	23
7	Analisis subgroup sumber lignin terhadap karakteristik kapasitas penahanan air dan pertumbuhan pada CRF	25
8	Analisis subgroup jenis lignin terhadap karakteristik pelepasan nitrogen pada CRF	26
9	Analisis subgroup jenis lignin terhadap karakteristik sudut kontak dan penyerapan air pada CRF	27
10	Analisis subgroup jenis lignin terhadap karakteristik kapasitas penahanan air dan pertumbuhan pada CRF	28
11	Analisis subgroup jenis matriks terhadap karakteristik pelepasan nitrogen pada CRF	29
12	Analisis subgroup jenis matriks terhadap karakteristik sudut kontak dan penyerapan air pada CRF	30
13	Analisis subgroup jenis matriks terhadap karakteristik kapasitas penahanan air dan pertumbuhan pada CRF	30
14	Analisis subgroup metode pembuatan CRF terhadap karakteristik pelepasan nitrogen, sudut kontak, penyerapan air, kapasitas penahanan air, dan pertumbuhan	32
15	Hasil meta-regresi pada seluruh parameter CRF	33
16	Analisis bias publikasi dengan metode Rosenthal pada karakteristik CRF	35
17	Hasil analisa proksimat dari ampas tebu	37
18	Hasil analisa Van Soest dari ampas tebu	37
19	Karakteristik <i>purified lignin</i> (PL) setelah proses ekstraksi dan pemurnian lignin dari ampas tebu	38
20	Perbandingan nilai R^2 dengan pendekatan model linear	46

DAFTAR GAMBAR

1	Berbagai sumber lignin dan volumenya (Bajwa <i>et al.</i> 2019)	4
2	Ilustrasi skema dari proses difusi terkontrol dari biopolimer lignin <i>controlled-release</i> (Chowdhury 2014)	5
3	Teknologi pemanfaatan lignin untuk aplikasi pupuk laju lepas lambat (dos Santos <i>et al.</i> 2021)	7

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



4	Metode produksi pupuk lepas terkendali (CRF) berbasis lignin (Lu <i>et al.</i> 2022)	7
5	Kerangka pemikiran	10
6	Diagram alir konseptual penelitian meta analisis dan uji laboratorium untuk validasi hasil meta analisis	11
7	Skema pencarian dan penyeleksian sumber studi (diagram PRISMA)	16
8	<i>Forest plot</i> dari parameter	19
9	Plot meta-regresi untuk parameter pelepasan nitrogen (a), sudut kontak (b), penyerapan air (c), kapasitas penahanan air (d), dan pertumbuhan (e)	34
10	<i>Funnel plot</i> untuk parameter pelepasan nitrogen (a), sudut kontak (b), penyerapan air (c), kapasitas penahanan air (d), dan pertumbuhan (e)	36
11	Biokomposit film NR (a), NRPL (b), dan NRAL (c)	39
12	Spektrum FTIR komposit film: NR, NRPL, dan NRAL	40
13	Kurva kristalinitas komposit film NR, NRPL, dan NRAL	41
14	Ilustrasi CRF dari model produk dan kontrol pada uji validasi	42
15	Foto sampel dari a) U-NR, d) U-NRPL, dan f) U-NRAL. Gambar SEM dari sampel b) U-NR, e) U-NRPL, dan h) U-NRAL. Grafik distribusi ketebalan <i>coating</i> dari sampel c) U-NR, f) U-NRPL, dan i) U-NRAL. Foto dan gambar SEM dari urea granul tanpa <i>coating</i> ditunjukkan pada j) dan k).	43
16	Grafik pelepasan kumulatif nitrogen (N) dalam tanah dengan mengikuti model Orde 0	44
17	Grafik pelepasan kumulatif nitrogen (N) per waktu	45

DAFTAR LAMPIRAN

1	Data lengkap dari database meta-analisis	58
2	Proses pendugaan data berbentuk grafik menggunakan <i>Web Plot Digitizer</i>	63
3	Tampilan proses olah data dengan <i>software OpenMEE</i>	64
4	Rumus analisis dari data meta-analisis	65
5	Metode preparasi lignin dan pembuatan biokomposit CRF sesuai dengan hasil meta-analisis	67
6	Perhitungan konsentrasi optimum (ambang batas) lignin dalam CRF	69
7	Kinetika pelepasan nitrogen ditentukan berdasarkan pendekatan lima model	70

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.