

**PENINGKATAN KINERJA *RAIN GARDEN* DI KAWASAN
PERMUKIMAN DENGAN MEMANFAATKAN BIOCHAR BERBASIS
TEMPURUNG KELAPA (*Cocos nucifera*): PENDEKATAN
BERKELANJUTAN UNTUK PENGELOLAAN AIR HUJAN PERKOTAAN**

**RIJALI NOOR
NIM. 2341213310006**



**PROGRAM STUDI DOKTOR
ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
BANJARMASIN
2026**

**PENINGKATAN KINERJA *RAIN GARDEN* DI KAWASAN
PERMUKIMAN DENGAN MEMANFAATKAN BIOCHAR BERBASIS
TEMPURUNG KELAPA (*Cocos Nucifera*): PENDEKATAN
BERKELANJUTAN UNTUK PENGELOLAAN AIR HUJAN PERKOTAAN**

**RIJALI NOOR
NIM. 2341213310006**

DISERTASI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
DOKTOR ILMU LINGKUNGAN
Prodi S3 ILMU LINGKUNGAN**

**PROGRAM STUDI DOKTOR
ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
BANJARMASIN
2026**

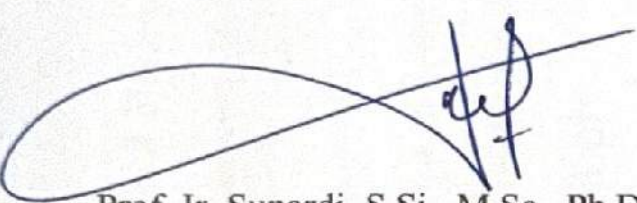
LEMBAR PENGESAHAN

PENINGKATAN KINERJA *RAIN GARDEN* DI KAWASAN PERMUKIMAN DENGAN MEMANFAATKAN BIOCHAR BERBASIS LIMBAH TEMPURUNG KELAPA (*Cocos nucifera*): PENDEKATAN BERKELANJUTAN UNTUK PENGELOLAAN AIR HUJAN PERKOTAAN

Oleh:
Rijali Noor
NIM. 2341213310006

Disetujui,
TIM PROMOTOR


Dr. Ir. H. Abdul Ghofur, ST, MT
Promotor


Prof. Ir. Sunardi, S.Si., M.Sc., Ph.D
Co Promotor I


Dr. Hafiizh Prasetya, S.Si., MS
Co Promotor II

Diketahui,

Koordinator Program Studi Doktor
Ilmu Lingkungan

Direktur Pascasarjana ULM



Dr. H. Isna Syauqiah, S.T., M.T., IP
NIP. 19690608 199702 2002



Prof. Dr. Ir. Danang Biyatmoko, M.Si
NIP. 196805071993031020

Tanggal Lulus:

Tanggal Wisuda:

SERTIFIKAT UJI PLAGIASI

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT**

UPA BAHASA

CERTIFICATE

NO.459/UN8.16/BS/26

This is to certify that

RIJALI NOOR

2341213310006

has taken the indicated parts of English Proficiency Test under secure conditions.
Form

Listening Comprehension

Score

56

Structure & Written Expression

Score

45

Reading Comprehension & Vocabulary

Score

50

Total Score

Score

503



*This certificate will always be valid for ULM's Needs
(Thesis's Exam/Judicium/Graduation)*



PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam Naskah Disertasi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Disertasi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Disertasi ini dibatalkan serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70 yang berbunyi : 'Lulusan perguruan tinggi yang karya ilmiahnya digunakan untuk memperoleh gelar akademik, profesi atau vokasi terbukti merupakan jiplakan dicabut gelarnya'. Pasal 70 yang berbunyi : 'Lulusan yang karya ilmiahnya yang digunakannya untuk mendapatkan gelar akademik, profesi atau vokasi sebagaimana yang dimaksud dalam pasal 25 ayat 2 terbukti merupakan jiplakan dipidana dengan pidana penjara paling lama dua tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 200.000.000,00 (dua ratus juta rupiah).

Banjarmasin, Juli 2026.



Rijali Noor
NIM. 2341213310006

RINGKASAN

Penelitian ini berfokus pada peningkatan kinerja *rain garden* di kawasan permukiman melalui pemanfaatan biochar berbasis limbah tempurung kelapa sebagai media amandemen untuk meningkatkan kualitas tanah, air, dan produktivitas vegetasi. Latar belakang penelitian didasari oleh meningkatnya tantangan dalam pengelolaan air hujan akibat urbanisasi, penurunan ruang terbuka hijau, serta tingginya volume limpasan permukaan yang membawa polutan seperti TSS, kekeruhan, dan zat warna ke sistem drainase perkotaan. Konsep *rain garden*, yang berfungsi sebagai sistem bioretensi alami, dipandang sebagai solusi *Low Impact Development* (LID) yang mampu mereduksi beban limpasan melalui infiltrasi, filtrasi, dan fitoremediasi.

Penelitian ini mengintegrasikan biochar, tanaman hias lokal, dan sistem *rain garden* dalam sebuah inovasi yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi pengendalian limpasan air hujan di perkotaan. Biochar tempurung kelapa dipilih karena ketersediaannya yang melimpah secara lokal, rasio C/N yang tinggi, porositas yang besar, serta kemampuannya dalam menyerap polutan dan meningkatkan retensi air tanah. Penelitian ini juga mencakup optimasi pembuatan biochar menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) melalui variasi suhu, lama pirolisis, dan ukuran partikel untuk memperoleh mutu biochar terbaik. Secara metodologis, penelitian dilakukan melalui serangkaian tahapan, mulai dari produksi dan optimasi biochar, karakterisasi tanah gambut dan media tanam, hingga pengujian kinerja *rain garden* pada skala laboratorium dan skala pilot. Variabel yang diamati mencakup parameter fisikokimia tanah, efisiensi penurunan kekeruhan, infiltrasi, serta respons pertumbuhan pada tiga jenis tanaman lokal: *Crossandra*, *Saraca indica*, dan *Ruellia simplex*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum pirolisis tempurung kelapa diperoleh pada suhu 300 °C, waktu proses 51,21 menit, dan ukuran partikel 2,38 mm, yang menghasilkan biochar dengan rendemen, kadar air, dan kadar abu sesuai standar SNI. Pemodelan menggunakan pendekatan *Response Surface Methodology* (RSM) dengan model kuadratik menunjukkan kemampuan prediksi yang sangat baik terhadap ketiga parameter tersebut dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,97–0,99. Hasil analisis ANOVA mengindikasikan bahwa

model signifikan secara statistik ($p < 0,05$), dengan *lack of fit* yang tidak signifikan, kesesuaian antara nilai R^2 dan *predicted* R^2 dalam batas yang dapat diterima, serta nilai adequate precision lebih dari 4. Dengan demikian, model dinilai valid dan layak digunakan untuk memprediksi kondisi proses.

Pada penelitian ini juga digunakan tanah gambut sebagai media untuk *rain garden*. Tanah gambut memiliki karakteristik berupa rasio C/N yang rendah, kandungan P_2O_5 dan K_2O yang relatif tinggi, pH agak masam, serta muatan koloid negatif yang besar dengan kapasitas tukar kation (KTK) yang baik, namun kejenuhan basa rendah sehingga memerlukan ameliorasi, seperti pengapuran. Sementara itu, biochar tempurung kelapa dicirikan oleh kandungan karbon yang sangat tinggi, struktur yang stabil, kandungan nitrogen yang rendah, luas permukaan yang besar, dan porositas makro yang mampu meningkatkan aerasi serta mendukung aktivitas mikroba tanah. Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa biochar memiliki potensi tinggi sebagai bahan pembenah tanah sekaligus sebagai media pendukung dalam sistem *rain garden*.

Pada pengujian kualitas air, penambahan biochar pada media *rain garden* memberikan respons yang berbeda pada setiap jenis tanaman serta memengaruhi pertumbuhan tanaman dan kualitas air hujan yang diolah. Tanaman asoka menunjukkan respons terbaik pada dosis biochar 0,75 kg, krosandra optimal pada dosis 0,25 kg–0,5 kg, sedangkan kencana ungu memperlihatkan pertumbuhan yang lebih stabil. Penurunan kekeruhan paling efektif terjadi pada sistem dengan tanaman kencana ungu, sementara karakteristik infiltrasi menunjukkan variasi respons antartanaman. Analisis statistik menunjukkan bahwa konsentrasi biochar berpengaruh signifikan terhadap efisiensi penurunan kekeruhan dan waktu infiltrasi, dengan pola respons yang berbeda pada masing-masing jenis tanaman.

Penelitian ini menyimpulkan bahwa inovasi *rain garden*–biochar system merupakan pendekatan berkelanjutan yang layak diterapkan dalam pengelolaan air hujan di perkotaan di Indonesia. Temuan penelitian ini menyediakan dasar ilmiah sekaligus rekomendasi praktis bagi pemerintah daerah, perencanaan kota, dan praktisi lingkungan dalam pengembangan infrastruktur hijau berbasis teknologi lokal yang ramah lingkungan, efisien, dan adaptif terhadap perubahan iklim.

Kata kunci: air hujan, biochar tempurung kelapa, *Rain Garden*, *urban landscape*

SUMMARY

This study focuses on enhancing the performance of rain gardens in residential areas by using coconut shell waste-based biochar as a soil amendment to improve soil and water quality and vegetation productivity. The research is motivated by increasing stormwater management challenges due to urbanization, the decline of green open spaces, and high volumes of surface runoff carrying pollutants such as TSS, turbidity, and dyes into urban drainage systems. The rain garden concept, which functions as a natural bioretention system, is considered a Low Impact Development (LID) solution that reduces runoff loads through infiltration, filtration, and phytoremediation.

This study integrates biochar, local ornamental plants, and a rain garden system into an innovative design to improve the efficiency of urban stormwater runoff management. Coconut shell biochar was selected due to its abundant local availability, high C/N ratio, large porosity, and capacity to adsorb pollutants while enhancing soil water retention. The study also encompasses optimizing biochar production using Response Surface Methodology (RSM) by varying temperature, pyrolysis duration, and particle size to achieve optimal biochar quality. Methodologically, the research was conducted in a series of sequential stages, ranging from biochar production and optimization to the characterization of peat soil and growing media, to performance testing of the rain garden system at both laboratory and pilot scales. The observed variables included soil physicochemical parameters, turbidity reduction efficiency, infiltration rates, and the growth responses of three local plant species: *Crossandra*, *Saraca indica*, and *Ruellia simplex*.

The results indicate that the optimum pyrolysis conditions for coconut shell biochar were achieved at 300 °C, with a processing time of 51.21 minutes and a particle size of 2.38 mm, yielding biochar with a yield, moisture content, and ash content that conform to Indonesian National Standard (SNI) requirements. Modeling using the RSM quadratic approach demonstrated excellent predictive capability for all three parameters, with coefficients of determination (R^2) ranging from 0.97 to 0.99. ANOVA indicated that the model was statistically significant ($p < 0.05$), with a non-significant lack of fit, acceptable agreement between R^2 and predicted R^2 values, and an adequate precision exceeding 4, confirming that the model is valid and suitable for predicting process conditions.

This study also employed peat soil as the rain garden growing medium. Peat soil is characterized by a low C/N ratio, relatively high P_2O_5 and K_2O content, a slightly acidic pH, and a large negative colloidal charge with good cation exchange capacity (CEC) but low base

RIWAYAT HIDUP PENULIS

Rijali Noor, ST., MT., lahir di Banjarmasin pada Tanggal 7 Juli 1976. Penulis menyelesaikan pendidikan Sarjana Teknik Sipil di Universitas Lambung Mangkurat pada Tahun 1998, kemudian melanjutkan pendidikan Magister Teknik Lingkungan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dan berhasil meraih gelar Magister Teknik pada Tahun 2003. Sejak tahun 1999 hingga sekarang, penulis aktif berkarier sebagai dosen di Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru. Selain itu, penulis juga berpengalaman sebagai konsultan dalam bidang studi kelayakan bangunan dan lingkungan sejak tahun 1999, serta konsultan Analisis Dampak Lalu Lintas (Andalalin) sejak tahun 2018.

Dalam pengembangan kompetensi profesional, penulis telah mengantongi berbagai sertifikasi, di antaranya sebagai Ketua Tim Penyusun Amdal (KTPA), Ahli Madya Teknik Bangunan Gedung, dan Ahli Madya Teknik K3 Konstruksi yang berlaku secara resmi melalui Badan Nasional Sertifikasi Profesi. Sepanjang perjalanan akademik dan profesionalnya, penulis aktif mengikuti berbagai kursus, pelatihan, seminar nasional maupun internasional di bidang teknik sipil, lingkungan, sanitasi, serta manajemen konstruksi. Penulis juga telah terlibat dalam beragam penelitian, mulai dari pengelolaan limbah dan kualitas air, pemodelan kebisingan, pemanfaatan biomassa, hingga pengembangan teknologi pengolahan air limbah.

Selain aktivitas akademik, penulis juga memiliki pengalaman luas di lapangan sebagai konsultan penyusunan dokumen lingkungan, Andalalin, serta perizinan teknis bangunan dan lingkungan untuk berbagai proyek di Kalimantan Selatan dan sekitarnya. Keterlibatan tersebut mencakup proyek pembangunan infrastruktur, perumahan, rumah sakit, fasilitas industri, hingga pengelolaan tempat pembuangan akhir. Dengan kombinasi pengalaman akademik, penelitian, dan praktik profesional, penulis berkomitmen untuk terus memberikan kontribusi nyata dalam bidang teknik lingkungan dan pengelolaan pembangunan berkelanjutan.

PRAKATA

Segala puja dan puji yang tidak terhingga hanya untuk Allah semata, dan hamba tidak akan mampu memuji Engkau sebagaimana Engkau memuji Dirimu Sendiri. Segala puji bagi Allah yang telah menunjukkan kepada penulis jalan ini dan tidaklah penulis mendapat petunjuk kalaulah tidak diberi petunjuk oleh Allah. Engkaulah Tuhan kami yang Maha Esa, Maha Tunggal, tidak ada Tuhan yang berhak disembah melainkan hanya Engkau semata. Disertasi ini ditulis, dengan ilmu-Nya dan pertolongan-Nya jua, untuk mengemban amanah mencari khazanah ilmu Allah yang Maha Luas tak bertepi dan mengajarkan kembali ilmu-Nya itu kepada makhluk-Nya, agar menjadi ilmu yang bermanfaat sebagai sarana untuk mendekatkan diri kepada-Nya.

Disertasi dengan judul **“Peningkatan Kinerja *Rain Garden* di Kawasan Permukiman Dengan Memanfaatkan Biochar Berbasis Limbah Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera*): Pendekatan Berkelanjutan Untuk Pengelolaan Air Hujan Perkotaan”** ini membahas peningkatan kinerja *rain garden* di kawasan permukiman melalui pemanfaatan *biochar* berbasis limbah tempurung kelapa sebagai media amandemen untuk meningkatkan kualitas tanah, air, dan produktivitas vegetasi.

Penelitian ini mengintegrasikan biochar, tanaman hias lokal, dan sistem *rain garden* dalam sebuah inovasi yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi pengendalian limpasan air hujan di perkotaan. *Biochar* tempurung kelapa dipilih karena ketersediaannya yang melimpah secara lokal, rasio C/N yang tinggi, porositas yang besar, serta kemampuannya dalam menyerap polutan dan meningkatkan retensi air tanah. Penelitian ini juga mencakup optimasi pembuatan biochar menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) melalui variasi suhu, lama pirolisis, dan ukuran partikel untuk memperoleh mutu biochar terbaik. Secara metodologis, penelitian dilakukan melalui serangkaian tahapan, mulai dari produksi dan optimasi biochar, karakterisasi tanah gambut dan media tanam, hingga pengujian kinerja *rain garden* pada skala laboratorium dan pilot. Variabel yang diamati mencakup parameter fisikokimia tanah, efisiensi penurunan kekeruhan dan TSS, infiltrasi, serta respons pertumbuhan pada tiga jenis tanaman lokal: *Crossandra*, *Saraca indica*, dan *Ruellia simplex*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa biochar yang dioptimalkan mampu meningkatkan sifat fisik dan kimia tanah secara signifikan, terutama retensi air, kapasitas tukar kation, dan permeabilitas media. Pada pengujian kualitas air, biochar tempurung kelapa terbukti efektif dalam mereduksi kekeruhan, TSS, dan zat warna pada air limpasan. Integrasi biochar dalam media *rain garden* juga meningkatkan efisiensi infiltrasi dan mendukung pertumbuhan vegetasi yang lebih stabil, khususnya pada perlakuan dosis menengah yang memberikan kinerja paling konsisten. Secara ekologis, sistem *rain garden* berbasis biochar berkontribusi pada peningkatan kualitas lingkungan urban dengan memperkuat fungsi hidrologis ruang terbuka hijau, meningkatkan kapasitas penyerapan air, serta mengurangi tekanan pada sistem drainase kota. Selain itu, penggunaan limbah tempurung kelapa sebagai bahan baku biochar memperkuat pendekatan ekonomi sirkular dalam pemanfaatan biomassa lokal, mendukung mitigasi perubahan iklim melalui peningkatan sekuestrasi karbon, serta memperkaya biodiversitas di kawasan permukiman.

Penelitian dan penulisan disertasi ini dimaksudkan untuk memenuhi sebagian dari persyaratan guna memperoleh gelar Doktor, pada Program Doktor Ilmu Lingkungan, Universitas Lambung Mangkurat dan merupakan kesempatan berharga sekali untuk menerapkan beberapa teori yang diperoleh selama menempuh pendidikan dalam situasi dunia nyata. Tanpa kesempatan, bimbingan, masukan, serta dukungan semangat dari berbagai pihak, tentunya disertasi ini tidak akan terwujud sebagaimana bentuknya saat ini. Sehubungan dengan selesainya penulisan disertasi ini, penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuan, baik moril maupun materiil. Semoga Allah membalas anda sekalian dan mereka dengan kebaikan. Karena itulah penulis berterimakasih kepada pihak-pihak berikut.

1. Prof. Dr. H. Abdul Ghofur, ST, MT, sebagai Ketua Komisi Pembimbing yang telah dengan penuh kesabaran dan keikhlasan meluangkan banyak waktu dan perhatian dalam memberikan pengarahan, masukan dan motivasi untuk penyelesaian disertasi ini.
2. Prof. Sunardi, S.Si., M.Sc., Ph.D, selaku Anggota Komisi Pembimbing, yang telah dengan penuh kesabaran dan keikhlasan meluangkan banyak waktu dan perhatian dalam memberikan pengarahan dan masukan untuk perbaikan disertasi ini.
3. Dr. Hafiih Prasetia, S.Si., MS, selaku Anggota Komisi Pembimbing, yang telah dengan penuh kesabaran dan keikhlasan meluangkan banyak waktu dan perhatian dalam memberikan pengarahan dan masukan untuk perbaikan disertasi ini.
4. Prof. Dr. Ir. Ali Masduqi, ST., MT., selaku dosen penguji eksternal yang selalu memberikan arahan, koreksi, masukan untuk perbaikan disertasi ini.
5. Dr. Novitasari, S.T, M.T., selaku dosen penguji yang selalu memberikan arahan, koreksi, masukan untuk perbaikan disertasi ini.
6. Prof. Akhmad Rizalli Saidy, S.P., M.Agr.Sc., Ph.D, selaku dosen penguji yang selalu memberikan arahan, koreksi, masukan untuk perbaikan disertasi ini.
7. Dr. Nopi Stiyati Prihatini, S.Si., M.T, selaku dosen penguji yang selalu memberikan arahan, koreksi, masukan untuk perbaikan disertasi ini.
8. Dr. Isnasyauqiah, S.T., M.T. selaku Ketua Program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Lambung Mangkurat yang senantiasa memberikan semangat dan dorongannya selama mengikuti pendidikan dan penyelesaian pendidikan ini.
9. Penulis juga berterimakasih atas kebaikan Pimpinan Rektor beserta segenap sivitas akademika Universitas Lambung Mangkurat beserta Bapak/Ibu dosen pengajar S3 yang telah memberikan ilmunya. Semoga Allah membalas mereka semua dengan kebaikan.
10. Para Pegawai dan Staf Administrasi pada Program Doktor Ilmu Pertanian Universitas Lambung Mangkurat.
11. Terima kasih banyak juga penulis sampaikan atas kebaikan dan dukungan dari para responden dari berbagai pakar dan keilmuan yang bersedia memberikan informasi, dukungan, dan arahan ide-ide yang bermanfaat untuk menemukan model terbaik dalam penelitian ini. Semoga Allah membalas mereka semua dengan kebaikan.
12. Terima kasih banyak juga penulis sampaikan atas kebaikan dan dukungan dari Rekan-rekan Mahasiswa Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan, Universitas

Lambung Mangkurat. Semoga Allah membalas mereka semua dengan kebaikan.

13. Rasa terima kasih yang tulus dan dalam penulis sampaikan atas kebaikan kedua orangtua tercinta atas segala dukungan, arahan ide-ide, terutama doa spiritual yang terus mereka panjatkan kepada Allah untuk penulis. Semoga Allah membalas mereka berdua dengan kebaikan.
14. Rasa terimakasih yang tulus dan dalam penulis sampaikan atas kebaikan bapak dan ibu mertua, untuk segala dukungan untuk penulis. Semoga Allah membalas mereka berdua dengan kebaikan.
15. Rasa terimakasih yang tulus dan dalam penulis sampaikan kepada istri, dan anak penulis tercinta, demi kesabarannya, untuk segala dukungan fisik dan mental, arahan ide-ide, terutama doa spiritual yang terus dipanjatkan kepada Allah untuk penulis. Semoga Allah membalasnya dengan kebaikan.
16. Rasa terimakasih yang tulus dan dalam penulis sampaikan kepada keluarga besar penulis terutama doa spiritual yang terus mereka panjatkan kepada Allah. Semoga Allah membalas mereka semua dengan kebaikan.

Terima kasih banyak juga penulis sampaikan atas kebaikan dan dukungan seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu dalam memberikan bantuan untuk menyempurnakan disertasi ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada mereka semua atas segala jasa dan kebaikan yang telah diberikan. Semoga Allah membalas mereka dengan kebaikan. Amiin Allahumma amiin.

Banjarmasin, Juli 2026

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
SERTIFIKAT UJI PLAGIASI.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
RINGKASAN	vi
SUMMARY	viii
RIWAYAT HIDUP PENULIS	x
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian.....	6
1.4. Manfaat Penelitian.....	7
1.5. Hipotesis Disertasi.....	7
1.6. Asumsi dan Lingkup Masalah	8
1.7. Kerangka Konsep / Teori Penelitian	13
II. TINJAUAN PUSTAKA	22
2.1. <i>Rain Garden</i> : Konsep dan Fungsi	22
2.2. Prinsip <i>Low Impact Development</i> (LID)	29
2.3. Permukiman Berkelanjutan	32
2.4. Konsep Pembangunan Berkelanjutan	36
2.5. Konsep Keberlanjutan Ekologi	38
2.6. Kota Banjarbaru sebagai Kota Ekopolis	41
2.7. Pemanfaatan Biochar Tempurung Kelapa untuk Air Tanah dan Limpasan Air Hujan.....	44
2.8. Tanah Gambut: Sifat Fisik, Kimia, dan Peran dalam <i>Rain Garden</i>	46
2.9. Pendekatan Response Surface Methodology (RSM) untuk Optimasi Proses...	47
III. METODE PENELITIAN	49
3.1 Waktu, Tempat dan Objek Penelitian.....	49
3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian	50
3.3 Batasan Penelitian dan Desain Operasional	52
3.4 Prosedur Pengumpulan Data.....	53
3.4.1 Jenis dan Sumber Data	53
3.4.2 Teknik Pengumpulan Data.....	54
3.4.3 Langkah Pengumpulan Data	55
3.4.3.2 Uji Sifat Fisikokimia Tanah Gambut	60
3.4.3.3 Uji Karakterisasi Lanjut Biochar	61
3.4.3.4 Evaluasi Efektivitas Penambahan Biochar	62
3.4.4 Diagram Alir Penelitian.....	74
3.5 Analisis Data.....	75
3.6 Kerangka Pikir Penelitian.....	76

3.6.1	Inovasi Teknologi Rain Garden dengan Penambahan Biochar	76
3.6.2	Tantangan Lingkungan Perkotaan dan Urgensi Rain Garden	77
3.6.3	Peran Biochar dalam Meningkatkan Kinerja Media Tanam	78
3.6.4	Aspek Desain dan Evaluasi Efektivitas Rain Garden	79
3.6.5	Interaksi Biochar dengan Tanah dan Air di Rain Garden.....	79
3.6.7	Rain Garden Biochar untuk Lanskap Perkotaan Berkelanjutan	80
3.6.8	Optimasi Biochar dengan RSM.....	81
IV.	KEADAAN UMUM LOKASI PENELITIAN	82
4.1	Lokasi Penelitian	82
4.2	Kondisi Umum <i>Greenhouse</i> dan Sistem Rain Garden.....	83
4.3	Media Tanah Gambut.....	83
V.	HASIL DAN PEMBAHASAN	84
5.1	Karakteristik Dasar Tanah Gambut	84
5.1.1	Karbon Organik (C-organik), Nitrogen Total (N-total), dan Rasio C/N	84
5.1.2	Fosfor (P_2O_5) dan Kalium (K_2O)	85
5.1.3	Reaksi Tanah (pH)	86
5.1.4	Kation Dapat Ditukar dan Kapasitas Tukar Kation (KTK)	87
5.1.5	Kejenuhan Basa (KB) dan Aluminium Dapat Ditukar.....	87
5.1.6	Implikasi Pemberian Biochar terhadap Sifat Kimia Tanah Gambut....	89
5.2	Produksi dan Karakterisasi Biochar	91
5.2.1	Produksi Biochar	91
5.2.2	Analisis CHN	92
5.2.3	Analisis BET	93
5.2.4	Analisis SEM-EDX.....	94
5.2.5	Analisis Model RSM Terhadap Parameter Biochar	97
5.2.6	Analisis Statistik Model RSM terhadap Parameter Biochar.....	102
5.2.7	Optimasi Kondisi Proses	105
5.2.8	Visualisasi Model Prediktif RSM	106
5.3	Aplikasi Biochar pada Rain Garden	107
5.3.1	Evaluasi Rain Garden Pada Simulasi Air Hujan	107
5.3.2	Pengukuran Penurunan Kekeruhan.....	109
5.3.3	Pengukuran Waktu Infiltrasi	112
5.3.4	Analisis Statistik Efisiensi Kekeruhan	115
5.3.5	Analisis Statistik Waktu Infiltrasi	119
5.3.6	Uji Pertumbuhan Tanaman	122
5.3.6.1	Pengamatan Tinggi Tanaman.....	122
5.3.6.2	Pengamatan Daun Tanaman.....	127
5.3.6.3	Pengamatan Jumlah Daun Tanaman yang Jatuh	133
VI.	IMPLIKASI HASIL PENELITIAN	135
6.1	Implikasi Teoritis.....	135
6.2	Implikasi Praktis.....	139
6.2.1	Implikasi Terhadap Perbaikan Kualitas Tanah Gambut	139
6.2.2	Implikasi Terhadap Peningkatan Ketersediaan Unsur Hara.....	140
6.2.3	Implikasi Terhadap Sifat Fisik dan Hidrologi <i>Rain Garden</i>	141
6.2.4	Implikasi Terhadap Kualitas Air (Penurunan Kekeruhan)	142
6.2.5	Implikasi Terhadap Pertumbuhan Tanaman.....	143
6.2.6	Implikasi Terhadap Aplikasi <i>Rain Garden</i>	144
VII.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	146
7.1	Kesimpulan.....	146

7.2 Saran	147
DAFTAR PUSTAKA.....	148
LAMPIRAN.....	159

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1	Desain Eksperiment Box-Behnken dari Optimalisasi Pembuatan Biochar .	59
Tabel 3. 2.	Rancangan Perhitungan Pembuatan Air dengan Metode Artifisial.....	70
Tabel 3. 3.	Rancangan Percobaan Proses Penurunan Konsentrasi Kekeruhan dan Identifikasi Laju Infiltrasi	71
Tabel 3. 4.	Rancangan Percobaan Proses Perbandingan Efektivitas dari Variasi Tanaman	72
Tabel 5. 1.	Hasil Analisis Sifat Fisikokimia Tanah Gambut Pada Kondisi Awal.....	89
Tabel 5. 2.	Hasil Perbandingan Sifat Fisikokimia Tanah Gambut pada Kontrol dan Perlakuan Biochar dengan Berbagai Dosis.....	90
Tabel 5. 3.	Hasil Analisa BET Sampel Biochar	94
Tabel 5.4.	Hasil Analisis EDX Biochar	97
Tabel 5.5.	Estimasi Koefisien dan ANOVA pada Respons Rendemen Biochar	103
Tabel 5.6.	Estimasi Koefisien dan ANOVA pada Respons Kadar Air	104
Tabel 5.7.	Estimasi Koefisien dan ANOVA pada Respons Kadar Abu	105
Tabel 5.8.	Pembahasan Uji Normalitas Data Efisiensi Kekeruhan	116
Tabel 5.9.	Pembahasan Uji Homogenitas Data Efisiensi Kekeruhan	117
Tabel 5.10.	Pembahasan Uji Statistik Dekskriptif Data Efisiensi Kekeruhan.....	117
Tabel 5.11.	Pembahasan Uji <i>One-Way</i> ANOVA Data Efisiensi Kekeruhan.....	117
Tabel 5.12.	Pembahasan Uji <i>Post-Hoc (Tukey)</i> Data Efisiensi Kekeruhan.....	118
Tabel 5.13.	Pembahasan Uji Normalitas Data Efisiensi Waktu Infiltrasi	120
Tabel 5.14.	Pembahasan Uji Kruskal-Walis Data Efisiensi Waktu Infiltrasi	120
Tabel 5.15.	Pembahasan Uji <i>Post-Hoc (Mann-Whitney U)</i> Data Efisiensi Waktu Infiltrasi	121

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	<i>Layout Horizontal Subsurface Flow – Rain Garden</i>	10
Gambar 1.2.	Uji Coba Kolom <i>Rain Garden</i> tanpa Tanaman	11
Gambar 1.3.	Kerangka Konsep Penelitian.....	14
Gambar 2. 1.	Anatomi <i>Rain Garden</i>	24
Gambar 2. 2.	Tempurung Kelapa	45
Gambar 3. 1.	Tahapan Pengembangan (<i>Extension</i>) Model <i>Rain Garden</i> untuk <i>Urban Landscape</i> dan Drainase Berkelanjutan	55
Gambar 3. 2.	Rangkaian Unit Pirolisis Skala 300 mL	57
Gambar 3. 3.	Desain Model <i>Rain Garden</i> Tampak Atas.....	72
Gambar 3. 4.	Desain Isi Model <i>Rain Garden</i> Tampak Belakang	73
Gambar 3. 5.	Desain Model 3D <i>Rain Garden</i>	73
Gambar 3. 6.	Diagram Alir Penelitian	74
Gambar 3. 7.	Kerangka Pikir Penelitian.....	80
Gambar 5. 1.	Dokumentasi proses pembuatan biochar tempurung kelapa melalui pirolisis.....	92
Gambar 5.2.	Analisis SEM-EDX Biochar pada Perbesaran 10.000×	95
Gambar 5.3.	Korelasi Antara Nilai Prediksi dan Nilai Aktual Rendemen Biochar.....	98
Gambar 5.4.	Plot Residual Terhadap Hasil Prediksi Rendemen Biochar.....	99
Gambar 5.5.	Korelasi antara Nilai Prediksi dan Aktual Kadar Air Biochar	99
Gambar 5.6.	Plot Residual Terhadap Hasil Prediksi Kadar Air Biochar	100
Gambar 5.7.	Korelasi antara Nilai Prediksi dan Aktual Kadar Abu Biochar.....	101
Gambar 5.8.	Plot Residual Terhadap Hasil Prediksi Kadar Abu Biochar	101
Gambar 5.9.	Plot Permukaan Respons (Baris Atas) dan Plot Kontur (Baris Bawah) Menunjukkan Pengaruh Parameter Operasi Terhadap Masing-Masing Respons: (a) Rendemen Biochar, (b) Kadar Air, dan (c) Kadar Abu.....	107
Gambar 5.10.	Persiapan <i>Rain Garden</i> pada Simulasi Air Hujan	108
Gambar 5.11.	Kondisi pertumbuhan bunga asoka pada media <i>Rain Garden</i> selama penelitian	108
Gambar 5.12.	Kondisi pertumbuhan bunga kencana ungu pada media <i>Rain Garden</i> selama penelitian	109
Gambar 5.13.	Kondisi pertumbuhan bunga krosandra pada media <i>Rain Garden</i> selama penelitian	109
Gambar 5.14.	Rata-Rata Penurunan Kekeruhan	111
Gambar 5.15.	Rata-Rata Efisiensi Penurunan Kekeruhan	112
Gambar 5.16.	Rata-Rata Waktu Infiltrasi	114
Gambar 5.17.	Rata-Rata Efisiensi Waktu Infiltrasi.....	115
Gambar 5.18.	Pengamatan Tinggi Tanaman Penelitian.....	124
Gambar 5.19.	Output Uji Korelasi Pearson antara Dosis Biochar dan Tinggi Tanaman Kencana Ungu.....	126
Gambar 5.20.	Output Uji Korelasi Pearson antara Dosis Biochar dan Tinggi Tanaman Asoka	126
Gambar 5.21.	Output Uji Korelasi Pearson antara Dosis Biochar dan Tinggi Tanaman Krosandra	127
Gambar 5.22.	Pengamatan Jumlah Daun Tumbuh pada Tanaman Penelitian.....	128
Gambar 5. 23.	Hubungan Dosis Biochar terhadap Jumlah Daun Tumbuh pada Tanaman Kencana Ungu.....	132

Gambar 5.24. Hubungan Dosis Biochar terhadap Jumlah Daun Tumbuh pada Tanaman Asoka	132
Gambar 5.25. Hubungan Dosis Biochar terhadap Jumlah Daun Tumbuh pada Tanaman Krosandra	132

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Karakterisasi Tanah Gambut Sebelum Perlakuan	160
Lampiran 2. Karakterisasi Tanah Gambut Setelah Perlakuan	162
Lampiran 3. Dokumentasi Kegiatan Pirolisis Penelitian di Lapangan	164
Lampiran 4. Dokumentasi Kegiatan Aplikasi <i>Rain Garden</i> di Lokasi Penelitian.....	165
Lampiran 5. Dokumentasi Pengamatan Bunga Asoka pada Media <i>Rain Garden</i> di Lokasi Penelitian	167
Lampiran 6. Dokumentasi Pengamatan Bunga Kencana Ungu pada Media <i>Rain Garden</i> di Lokasi Penelitian	168
Lampiran 7. Dokumentasi Pengamatan Bunga Krosandra pada Media <i>Rain Garden</i> di Lokasi Penelitian	169
Lampiran 8. Pengamatan Tinggi Tanaman pada Minggu Pertama.....	170
Lampiran 9. Pengamatan Tinggi Tanaman pada Minggu Kedua	171
Lampiran 10. Pengamatan Tinggi Tanaman pada Minggu Ketiga.....	172
Lampiran 11. Pengamatan Tinggi Tanaman pada Minggu Keempat	173
Lampiran 12. Pengamatan Jumlah Daun pada Minggu Pertama	174
Lampiran 13. Pengamatan Jumlah Daun pada Minggu Kedua	175
Lampiran 14. Pengamatan Jumlah Daun pada Minggu Ketiga	176
Lampiran 15. Pengamatan Jumlah Daun pada Minggu Keempat.....	177
Lampiran 16. Pengamatan Jumlah Daun yang Jatuh pada Minggu Pertama	178
Lampiran 17. Pengamatan Jumlah Daun yang Jatuh pada Minggu Kedua.....	179
Lampiran 18. Pengamatan Jumlah Daun yang Jatuh pada Minggu Ketiga	180
Lampiran 19. Pengamatan Jumlah Daun yang Jatuh pada Minggu Keempat	181
Lampiran 20. Hasil Uji Normalitas terhadap Efisiensi Kekeruhan.....	182
Lampiran 21. Hasil Uji Homogenitas terhadap Efisiensi Kekeruhan	182
Lampiran 22. Hasil Uji Deskriptif terhadap Efisiensi Kekeruhan	182
Lampiran 23. Hasil Uji <i>One-Way</i> ANOVA terhadap Efisiensi Kekeruhan	183
Lampiran 24. Hasil Uji <i>Post Hoc</i> terhadap Efisiensi Kekeruhan	183
Lampiran 25. Hasil Uji Normalitas terhadap Efisiensi Waktu Infiltrasi.....	184
Lampiran 26. Hasil Uji Kruskal-Wallis terhadap Efisiensi Waktu Infiltrasi	184
Lampiran 27. Hasil Uji <i>Post-hoc Mann-Whitney U</i> terhadap Efisiensi Waktu Infiltrasi	184