

Book
Chapter
Konservasi
Alam Jilid 2



Book Chapter Konservasi Alam Jilid 2

Editor

Dr. Widya Hary Cahyati,, S. KM., M. Kes.

Penyunting

Prof. Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S. T., M. T.

Desain Sampul dan Tata Letak

Yoris Adi Maretta, S. Pd., M. Pd.

IT

Muhammad Kurniawan, S. Pd., M. Pd.

Penerbit LPPM Universitas Negeri Semarang
Gedung Prof. Dr. Retno Sriningsih Satmoko, Penelitian dan
Pengabdian Masyarakat, Kampus Sekaran, Gunungpati,
Semarang 50229 WA 085158837598
Email sentraki@mail.unnes.ac.id

Cetakan Pertama, 2023

ISSN 2961-7448

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang

PRAKATA

Dalam rangka pelaksanaan kegiatan Tri Dharma Perguruan Tinggi, maka kegiatan menulis buku merupakan salah satu indikator penting, terutama dalam bidang penelitian. Penulisan buku juga merupakan salah satu wujud penyebarluasan informasi kepada masyarakat di lingkungan akademik, maupun di masyarakat luas. Untuk itu, kami sebagai bagian dari komunitas akademik menghadirkan *bookchapter* sebagai wujud pelaksanaan dari Tri Dharma Perguruan Tinggi.

“*Bookchapter* Konservasi Alam Jilid 2” ini terdiri dari enam bab, yang masing-masing ditulis oleh kelompok peneliti yang mempunyai latar belakang di bidang konservasi alam atau ilmu-ilmu yang berkaitan. Dalam bab 1, menjelaskan tentang serangga hama peternakan ayam yang pengendaliannya masih bertumpu pada insektisida sintesis. Selain menyebabkan resisten pada serangga, insektisida sintesis menimbulkan residu yang membahayakan ternak dan lingkungan. Dalam rangka menemukan sumber bioinsektisida yang lebih ramah lingkungan, telah dilakukan analisis terhadap ekstrak kulit petai (*Parkia speciosa*) dan kulit ubi kayu (*Manihot utilissima*) serta menguji efeknya terhadap kemampuan makan, dan metamorfosis larva *A. diaperinus*. Skrining fitokimia ekstrak dilakukan untuk menganalisis keberadaan senyawa aktif apa saja yang berpotensi sebagai bioinsektisida. Pengujian dilakukan dengan memberikan paparan ekstrak secara kontak langsung dalam berbagai variasi konsentrasi. Penurunan konsumsi pakan, nilai FDI (*Feeding Deterrent Index*), dan penghambatan metamorfosis digunakan sebagai indikator kemanjuran ekstrak dalam mengendalikan populasi *A. diaperinus*.

Dalam bab 2 membahas tentang ancaman lingkungan yang serius seperti tanah longsor dan erosi yang merupakan konsekuensi logis dari adanya konversi lahan akibat peningkatan jumlah penduduk dan kegiatan pembangunan lainnya. Diperlukan intervensi untuk mencapai pembangunan berkelanjutan salah

satunya melalui konservasi lahan. Sejalan dengan hal tersebut, pandemi Covid-19 telah mendorong setiap orang untuk memikirkan kembali hubungan mereka dengan lingkungan, dan untuk mempertimbangkan konsekuensi atas aktivitas yang dilakukannya terhadap kesejahteraan manusia dan kelangsungan hidup ke depannya. Dalam rangka membantu memerangi perubahan iklim ditengah ancaman degradasi lahan, erosi dan tanah longsor diperlukan konservasi tanah yang berfokus untuk menjaga stabilisasi lereng dan perlindungan erosi tanah melalui kombinasi praktik dan teknik.

Di bab 3 dibahas tentang *Greenwashing* dan Sustainable Development Goals (SDGs). Data yang digunakan pada penelitian ini berjumlah 29 artikel berupa 17 jurnal, 2 buku, 6 *book chapter*, 4 *conference paper*, 1 catatan dan 1 hasil review yang dipublikasikan dari tahun 2000 hingga tahun 2021. Penelitian ini menggunakan R biblioshiny untuk analisis dan visualisasi data. Selanjutnya dilakukan pula analisis tambahan dengan menggunakan *Vos Viewer*. Terdapat 75 penulis, dengan jumlah penulis yang tidak berkolaborasi sebanyak 13 penulis pada 13 artikel. Jurnal *Sustainability* paling banyak menuat penulis Indonesia belum ada yang terdaftar, sehingga penelitian ini diharapkan dapat memberikan referensi terutama bagi penulis Indonesia yang akan melakukan publikasi internasional dengan tema serupa.

Bab 4 pada *bookchapter* ini membahas tentang pertanian garam di Indonesia yang masih dikerjakan konvensional, sehingga kondisi ini pengaruh cuaca mendominasi produksinya. Kebutuhan garam terus meningkat, sedangkan kuantitas garam fluktuatif. Pengaruh cuaca yang meliputi kecepatan angin, curah hujan, dan suhu memberikan pengaruh tidak signifikan terhadap kuantitas dan kualitas garam. Faktor signifikan yang mempengaruhi kuantitas produk diantaranya luas lahan, pendidikan dan pengetahuan, penggunaan teknologi, pola usaha lahan integrasi, sedangkan variasi teknologi berpengaruh terhadap kualitas garam.

Dalam bab 5 menjelaskan tentang penggunaan spirulina sebagai sumber pangan baru terbarukan digadang-gadang menjadi solusi yang inovatif, ekonomis dan berkelanjutan. Namun

demikian, belum ditemukan formula kultur spirulina yang dapat meningkatkan laju pertumbuhan spesifik dan hasil panen biomassa untuk menekan biaya produksi dan energi listrik yang dibutuhkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hormon auksin dan stikonin mampu memacu pertumbuhan spirulina, namun menurunkan kandungan proteinnya.

Pada bab 6 menjelaskan tentang selulosa kulit durian yang dapat dimodifikasi menjadi koagulan dengan melakukan beberapa proses modifikasi kimia. Salah satu metode modifikasi yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan glutaraldehid. Proses ini akan menghasilkan selulosa terkoneksi gugus glutaraldehid yang memiliki kemampuan sebagai koagulan. Industri tepung pati aren di Kabupaten Klaten, Jawa Tengah merupakan industri yang menghasilkan limbah cair dan limbah padat yang selain mengganggu estetika, juga mengganggu kualitas air di lingkungan sekitarnya. Pada bagian lain limbah kulit durian merupakan sumber selulosa yang dapat digunakan sebagai precursor koagulan.

Bab 7 pada book chapter ini menjelaskan tentang remediasi lahan pertanian di Indonesia yang menjadi isu yang sangat penting untuk diteliti dan dikembangkan. Penggunaan tanah dalam jangka panjang dan metode pengelolaan yang kurang tepat disinyalir menjadi penyebab utama terus turunnya kualitas tanah pada lahan pertanian dari tahun ke tahun. *Biofertilizer* berbasis bahan alam dapat dipreparasi melalui proses pirolisis biomassa yang kemudian dikenal luas sebagai *biochar*. Penggunaan *biochar* baik secara individual maupun bersamaan dengan jenis pupuk lain dilaporkan mampu memperbaiki kualitas tanah dan meningkatkan produktivitas lahan pertanian, dibandingkan dengan pengelolaan tanah tanpa penambahan *biochar*.

Penulis menyadari *bookchapter* ini masih belum sempurna, sehingga penulis menerima saran yang membangun. Semoga *bookchapter* ini bermanfaat bagi pembaca.

Semarang, Juli 2023

Tim Editor

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN IDENTITAS BUKU	ii
PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
No table of contents entries found. DAFTAR GAMBAR	x
BAB I. POTENSI EKSTRAK LIMBAH KULIT PETAI DAN KULIT UBI KAYU SEBAGAI BIOINSEKTISIDA PENGENDALI SERANGGA HAMA PETERNAKAN (<i>Alphitobius diaperinus</i>)	1
ABSTRAK	1
PENDAHULUAN	2
METODE PENGUJIAN	5
HASIL PENGUJIAN.....	9
SIMPULAN	7
UCAPAN TERIMA KASIH.....	7
DAFTAR PUSTAKA	7
BAB II. KONSERVASI LAHAN DALAM PERSPEKTIF PERUBAHAN IKLIM PASCA PANDEMI COVID-19	14
ABSTRAK	14
PENDAHULUAN	15
PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN.....	16
KONSERVASI LAHAN DAN PERUBAHAN IKLIM	19
FUNGSI TANAH DALAM PERUBAHAN IKLIM	20
KONSERVASI TANAH: KOMPONEN KUNCI UNTUK MENGURANGI DAMPAK PERUBAHAN IKLIM	21
PAKTIK KONSERVASI LAHAN	23
BIOTEKNOLOGI TANAH: RUMPUT VETIVER.....	30
MANFAAT KONSERVASI TANAH	32
SIMPULAN.....	33
UCAPAN TERIMA KASIH.....	34
DAFTAR PUSTAKA	34

**BAB III. PENGEMBANGAN MODEL KETERKAITAN
GREENWASHING DENGAN SUSTAINABLE
DEVELOPMENT GOALS (SDGs): ANALISIS**

BIBLIOMETRIK	37
ABSTRAK	37
PENDAHULUAN	38
METODE	43
INFORMASI DATA UTAMA	44
TREND PUBLIKASI DAN SITASI	45
JURNAL TERELEVAN DAN SITASI TERBANYAK	46
AFILIASI TERELEVAN DAN SITASI TERBANYAK	48
NEGARA TERPRODUKTIF DAN SITASI TERBANYAK.....	49
KOLABORASI PENULIS ANTARNEGARA.....	51
PENULIS PALING PRODUKTIF	52
THEMATIC EVOLUTION.....	54
KEYWORDS.....	56
CONCEPTUAL STRUCTURE	58
NETWORK VISUALIZATION	59
DENSITY VISUALIZATION.....	60
SIMPULAN.....	61
DAFTAR PUSTAKA	62
BAB IV. CUACA DAN KEGIATAN PERTANIAN GARAM DI KECAMATAN KALIORI - REMBANG	68
ABSTRAK	68
PENDAHULUAN	69
GEOGRAFIS LOKASI PENELITIAN.....	71
ANALISIS CUACA DAN PRODUKSI GARAM	73
PERTANIAN GARAM	79
KARAKTERISTIK PETANI GARAM	87
SIMPULAN.....	91
DAFTAR PUSTAKA	92
BAB V. SPIRULINA SEBAGAI SUPER FOOD	94
ABSTRAK	94
PENDAHULUAN	94
KONDISI UMUM	95
MIKROALGA	96
SPIRULINA	97

FAKTOR PEMBATAS TUMBUH MIKROALGA	98
FASE PERTUMBUHAN MIKROALGA	102
SPIRULINA SEBAGAI SUPER FOOD	104
SIMPULAN	108
UCAPAN TERIMA KASIH.....	108
DAFTAR PUSTAKA	109
BAB VI. MODIFIKASI SELULOSA KULIT DURIAN MENGUNAKAN GLUTARALDEHID SEBAGAI KOAGULAN UNTUK PEMULIHAN LIMBAH CAIR TEPUNG PATI AREN	115
ABSTRAK	115
PENDAHULUAN	116
KULIT BUAH DURIAN	118
PROSEDUR PEMBUATAN KOAGULAN	120
HASIL SINTESIS.....	122
SIMPULAN	142
DAFTAR PUSTAKA	142
BAB VII. <i>BIOFERTILIZER</i> BERBASIS <i>BIOCHAR</i> UNTUK REMEDIASI LAHAN PERTANIAN INDONESIA	145
ABSTRAK	145
PENDAHULUAN	145
KONDISI LAHAN PERTANIAN DI INDONESIA	147
UPAYA REMEDIASI LAHAN PERTANIAN DI INDONESIA ..	148
POTENSI <i>BIOCHAR</i> DALAM REMEDIASI LAHAN PERTANIAN	150
BIOFERTILIZER BERBASIS <i>BIOCHAR</i>	157
SIMPULAN	169
UCAPAN TERIMA KASIH.....	170
DAFTAR PUSTAKA	170

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Senyawa Fitokimia yang Teridentifikasi dari Ekstrak Kulit Petai.....	2
Tabel 1.2. Senyawa Fitokimia yang Teridentifikasi dari Ekstrak Kulit Ubi Kayu.....	3
Tabel 1.3. Tabel Rata-rata Konsumsi Pakan <i>A. diaperinus</i> Selama Pengujian (4 Minggu)	3
Tabel 1.4. Nilai FDI Ekstrak Kulit Petai dan Kulit Ubi Kayu	4
Tabel 1.5. Data Kemampuan Metamorfosis <i>A. diaperinus</i> yang Terpapar Ekstrak Kulit Petai dan Kulit Ubi Kayu pada Berbagai Konsentrasi.....	5
Tabel 1.6. Hasil Uji Independent Sample Kruskal Wallis terhadap Jumlah Imago pada Perlakuan Ekstrak Kulit Petai dan Ubi Kayu	6
Tabel 3.1. Informasi Data Utama	44
Tabel 4.1. Distribusi Data Cuaca dan Produksi Garam.....	74
Tabel 4.2. Autokorelasi.....	76
Tabel 4.3. Koefisien Determinasi.....	77
Tabel 4.4. Koefisien Regresi Berganda	78
Tabel 4.5. Koefisien.....	78
Tabel 4.6. Proses Pembuatan Garam Konvensional.....	81
Tabel 4.7. Luas Lahan Garam	85
Tabel 4.8. Harga Garam Kabupaten Rembang.....	90
Tabel 5.1. Kandungan Protein	107
Tabel 5.2. Faktor Lingkungan	107
Tabel 6.1. Kadar Proksimat Pada Kulit Durian Kering Gunungpati, Semarang, Jawa Tengah	123
Tabel 6.2. Hasil Proses Delignifikasi Kulit Durian	130
Tabel 6.3. Analisis Gugus Fungsi FTIR Tepung Kulit Durian (TKD), Selulosa Kulit Durian (SKD) dan SKD-Glutaraldehida.	132
Tabel 6.4. Hasil Pengukuran <i>Zeta Potensial</i> pada TKD, SKD, SKD-Glutaraldehida.....	134

Tabel 6.5. Komposisi Unsur Tepung Kulit Durian dan Flok..... 141

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.2. Grafik Khromatogram GC-MS Ekstrak Kulit Ubi Kayu (<i>Manihot utilissima</i>)	1
Gambar 1.1. Grafik Khromatogram GC-MS dari Ekstrak Kulit Petai (<i>Parkia speciosa</i>)	1
Gambar 1.3. Mortalitas Dewasa <i>A. diaperinus</i> yang Terpapar Ekstrak Selama Pengamatan 3 x 24 Jam	1
Gambar 2.1. Lima Dimensi Pembangunan Berkelanjutan.....	18
Gambar 2.2. Keterikatan SDGs 6,13,15	22
Gambar 2.3. Pondasi SDGs 15 – Ekosistem Daratan.....	23
Gambar 2.4. Persawahan Terasering.....	25
Gambar 2.5. Pertanian Kontur	25
Gambar 2.6. Lahan Persawahan	26
Gambar 2.7. Pembagian Zona	28
Gambar 2.8. Rumput Vetiver	30
Gambar 3.1. State of The Art.....	43
Gambar 3.2. Average Scientific Production.....	45
Gambar 3.3. Average Citations per Year.....	46
Gambar 3.4. Most Relevant Sources.....	47
Gambar 3.5. Source Local Impact by H Index.....	47
Gambar 3.6. Most Local Cited Source	48
Gambar 3.7. Most Relevant Affiliation	48
Gambar 3.8. Most Local Cited Documents	49
Gambar 3.9. Country Scientific Production	50
Gambar 3.10. Most Cited Countries.....	50
Gambar 3.11. Country Collaboration Map	51
Gambar 3.12. Corresponding Author’s Country	52
Gambar 3.13. Top-Authors’ Production over the Time	53
Gambar 3.14. Most Relevant Authors.....	53
Gambar 3.15. Author Local Impact by H Index.....	54
Gambar 3.16. Peta Evolusi Tema.....	54
Gambar 3.17. <i>Thematic Map</i>	55

Gambar 3.18. Topik Trend.....	56
Gambar 3.19. Most Relevant Words	56
Gambar 3.20. <i>Tree Map</i>	57
Gambar 3.21. <i>Keywords</i>	57
Gambar 3.22. Density.....	58
Gambar 3.23. Thematic Map Vos Viewer (Co Occuranceship) ..	59
Gambar 3.24. Network Visualization Vos Viewer	59
Gambar 3.25. Network Visualization Vos Viewer (Co Occurance)	60
Gambar 3.26. Density Visualization Vos Viewer (Co Authorship)	60
Gambar 3.27. Density Visualization Vos Viewer (Co ccuranceship)	61
Gambar 4.1. Peta Lokasi Penelitian	72
Gambar 4.2. Uji Normalitas	76
Gambar 4.3. Serokan Kayu Untuk Meratakan Air Agar Evaporasi Merata	80
Gambar 4.4. Penggunaan Geomembran	82
Gambar 4.5. Peta Penggunaan Teknologi Pada Lahan Garam ...	83
Gambar 4.6. Lokasi Lahan Integrasi Di Kecamatan Kaliori	84
Gambar 4.7. Peta Pola Usaha Garam	86
Gambar 5.1. <i>Arthrospira platensis</i> (Hadiyanto dan Azim, 2012)	97
Gambar 5.2. Kurva Pertumbuhan Mikroalga	104
Gambar 5.3. Grafik Pertumbuhan Spirulina.....	105
Gambar 5.4. Hasil Pengamatan Menggunakan Mikroskop Perbesaran 400x (Kiri Hari ke-1, Kanan Hari ke-4)	106
Gambar 6.1. (a) Limbah Kulit Durian Sebelum Preparasi (b) Limbah Kulit Durian Setelah Preparasi	123
Gambar 6.2. Proses Pemanasan Tepung Kulit Durian	125
Gambar 6.3. Tepung Kulit Durian Hasil Penghilangan Amilum	125
Gambar 6.4. Proses Delignifikasi Tepung Kulit Durian	126

Gambar 6.5. Mekanisme Reaksi Pemutusan Lignoselulosa Menjadi Lignin dan Selulosa dengan Basa Natrium Hidroksida (NaOH)	127
Gambar 6.6. Hasil Delignifikasi dengan NaOH, (a) Sebelum Dihaluskan, (b) Setelah Dihaluskan	127
Gambar 6.7. Proses <i>Bleaching Crude</i> Selulosa dengan Larutan H ₂ O ₂ 10% Selama 24 Jam	128
Gambar 6.8. Proses Penguraian Lignin oleh H ₂ O ₂ (Srebotnik <i>et al.</i> , 1994).....	129
Gambar 6.9. Hasil <i>Bleaching</i> dengan Larutan H ₂ O ₂ 10%	130
Gambar 6.10. Hasil Preparasi SKD dengan Glutaraldehida	131
Gambar 6.11. Spektrum FTIR: Tepung Kulit Durian (TKD), Koagulan SKD dan Koagulan SKD-Glutaraldehida	132
Gambar 6.12. Pengambilan Limbah Cair Tepung Pati Aren ...	135
Gambar 6.13. Proses <i>Jar Test</i>	137
Gambar 6.14. Hasil <i>Jar Test</i> (a) Limbah Awal (b) Koagulan PAC Koagulan SKD (d) Koagulan SKD-Glutaraldehida.....	137
Gambar 6.15. Nilai BOD ₅ (a) Koagulan PAC (b) Koagulan SKD; (c) Koagulan SKD-glutaraldehida	138
Gambar 6.16. Nilai COD (a) Koagulan PAC; (b) Koagulan SKD (c) Koagulan SKD-glutaraldehida	139
Gambar 6.17. Morfologi SEM (a) Tepung Kulit Durian (b) Flok	141

BAB I. POTENSI EKSTRAK LIMBAH KULIT PETAI DAN KULIT UBI KAYU SEBAGAI BIOINSEKTISIDA PENGENDALI SERANGGA HAMA PETERNAKAN (*Alphitobius diaperinus*)

**Priyantini Widiyaningrum¹⁾, Niken Subekti¹⁾, Ning Setiati¹⁾,
Alya Rizqi Nabilah¹⁾**

¹⁾Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Negeri Semarang

wiwiedeka@mail.unnes.ac.id; nikensubekti@mail.unnes.ac.id
ningsetiati@mail.unnes.ac.id; alyarizqinabilah26@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.15294/ka.v1i2.139>

ABSTRAK

Alphitobius diaperinus merupakan serangga hama peternakan ayam yang pengendaliannya masih bertumpu pada insektisida sintetis. Selain menyebabkan resisten pada serangga, insektisida sintetis menimbulkan residu yang membahayakan ternak dan lingkungan. Dalam rangka menemukan sumber bioinsektisida yang lebih ramah lingkungan, telah dilakukan analisis terhadap ekstrak kulit petai (*Parkia speciosa*) dan kulit ubi kayu (*Manihot utilissima*) serta menguji efeknya terhadap kemampuan makan, dan metamorfosis larva *A. diaperinus*. Skrining fitokimia ekstrak dilakukan untuk menganalisis keberadaan senyawa aktif apa saja yang berpotensi sebagai bioinsektisida. Pengujian dilakukan dengan memberikan paparan ekstrak secara kontak langsung dalam berbagai variasi konsentrasi. Penurunan konsumsi pakan, nilai FDI (*Feeding Deterrent Index*), dan penghambatan metamorfosis digunakan sebagai indikator kemanjuran ekstrak dalam mengendalikan populasi *A. diaperinus*. Hasil analisis fitokimia menunjukkan ekstrak kulit petai dan ubi kayu mengandung senyawa aktif yang berpotensi sebagai sumber bioinsektisida. Hasil uji statistik data kemampuan makan dan persentase larva yang berhasil bermetamorfosis menjadi imago menunjukkan perbedaan nyata. Paparan ekstrak kulit petai dan

kulit ubi kayu hingga level 50% terbukti mampu menurunkan konsumsi pakan berturut-turut 64,15% dan 53,49%. Sedangkan kemampuan metamorfosis menjadi imago turun sebesar 96,77%, dan 90,62%. Dari analisis ini dapat disimpulkan bahwa paparan ekstrak kulit petai dan ubi kayu mempengaruhi kemampuan makan, dan kemampuan bermetamorfosis larva *A. diaperinus*. Dengan demikian ekstrak kulit petai dan ubi kayu berpotensi dikembangkan sebagai bioinsektisida yang ramah lingkungan.

Kata kunci: *Alphitobius diaperinus*, Fitokimia, *Manihot utilissima*, Metamorfosis, *Parkia speciosa*

PENDAHULUAN

Alphitobius diaperinus (*A. diaperinus*) merupakan serangga yang dikategorikan sebagai hama gudang, tetapi umumnya hidup dan berkembang biak dengan pesat di area kandang ayam. Baik larva maupun dewasanya, mereka mengkonsumsi pakan ayam. Bahkan larva *A. diaperinus* memiliki kemampuan menggerogoti celah-celah bangunan dan dinding kandang ketika mereka memasuki fase pupasi (Dinev, 2013). *A. diaperinus* yang termakan oleh ayam dapat mengakibatkan stres gizi karena terbatasnya kemampuan unggas mencerna zat kitin serangga (Renault & Colinet, 2021). *A. diaperinus* juga merupakan vektor virus *Avian leucosis* dan dapat menjadi inang bagi bakteri dan jamur penyebab penyakit unggas seperti *Escherichia coli*, *Salmonella enterica*, *S. typhimurium*, *Campylobacter jejuni* (Hazeleger *et al.*, 2008; Agabou & Alloui, 2010). Oleh karena itu pengendalian populasi dan menjaga kebersihan menjadi faktor yang penting diperhatikan karena berpotensi menimbulkan kerugian ekonomi yang signifikan.

Sampai saat ini pengendalian hama *A. diaperinus* menggunakan insektisida sintesis masih menjadi prosedur utama pada peternakan unggas, dengan cara fumigasi. Insektisida sintesis merupakan kelompok pestisida yang mengandung beberapa jenis bahan kimia yang berbeda, antara lain organoklorin, organofosfat, karbamat, piretroid dan DEET (Meilina, 2017). Penggunaan

insektisida tidak dapat dipungkiri telah banyak menimbulkan berbagai permasalahan, antara lain meninggalkan residu yang berbahaya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, harga insektisida sintetik fluktuatif (Salaki *et al.*, 2012), menimbulkan efek berbahaya terhadap organisme non-target (As'ad *et al.*, 2019), serta timbulnya resistensi hama terhadap pestisida (Utami *et al.*, 2017). Peneliti terdahulu juga telah membuktikan bahwa populasi *A. diaperinus* dapat mengembangkan resistensi terhadap insektisida berbasis piretroid, bifenthrin, cyfluthrin, imidakloprid, permetrin, atau tetraklorvinfos (Renault & Colinet, 2021; Lyons *et al.*, 2017; Lambkin & Furlong, 2014). Banyaknya permasalahan akibat penggunaan insektisida sintesis tersebut, telah mendorong banyak peneliti berupaya menemukan alternatif insektisida alami (selanjutnya digunakan istilah bioinsektisida) yang lebih ramah lingkungan, antara lain pemanfaatan senyawa aktif dari tanaman.

Bioinsektisida secara umum didefinisikan sebagai bahan yang berasal dari makhluk hidup (tanaman, hewan atau mikroorganisme) yang berkhasiat menghambat pertumbuhan dan perkembangan, atau mematikan berbagai serangga hama pertanian, hama peternakan maupun pemukiman (Sumartini, 2016). Dibanding insektisida sintesis, bioinsektisida umumnya memiliki toksisitas yang lebih rendah, tetapi efektif mengendalikan perkembangbiakan serangga melalui berbagai cara, tidak mengganggu organisme non-target, tidak meninggalkan residu, mudah terurai secara hayati dan lebih ramah lingkungan. Bioinsektisida berbahan baku limbah organik, selain membantu mengatasi persoalan lingkungan, juga menghasilkan produk murah dan ramah lingkungan.

Limbah kulit petai (*Parkia speciosa*) dan kulit ubi kayu (*Manihot utilissima*) termasuk bahan buangan yang belum dimanfaatkan. Kulit petai diketahui memiliki kandungan senyawa fitokimia berupa alkaloid, saponin, flavonoid, tanin dan triterpenoid. Kandungan polifenol, tanin dan flavonoid dari petai dilaporkan mempunyai potensi menghambat pertumbuhan bakteri (Atmaja & Hendrayana, 2019; Verawaty 2016; Ramadani 2018). Konsentrasi tanin yang tinggi terdeteksi pada kulit biji dan

polongnya dibandingkan dengan sayuran buah lainnya. Tanin telah dilaporkan menurunkan pencernaan protein dan asam amino (Tunsaringkarn *et al.*, 2012; Gilani *et al.*, 2012). Oleh karena itu senyawa tanin merupakan salah satu senyawa metabolit sekunder tanaman yang tidak menutup kemungkinan bersifat anti serangga (Fajrin & Susila, 2019).

Kulit ubi kayu dikenal mengandung senyawa sianida yang didistribusikan secara luas di seluruh bagian tanaman seperti di daun dan lapisan kulit, dan sebagian kecil di parenkim akar (bagian dalam). Hasil analisis Adejumo *et al.* (2019) menunjukkan bahwa kulit ubi kayu mengandung senyawa Mn, Zn, Fe, Cu dan Mg. Nilai konsentrasi tinggi Fe dan Mg dalam kulit ubi kayu ini diduga menjadi sumber peningkatan tingkat toksisitas pada manusia. Penelitian Osipitan *et al.* (2015) menemukan bahwa ketahanan tanaman ubi kayu terhadap kerusakan serangga hama disebabkan oleh metabolit sekunder yang dihasilkannya, seperti tanin, saponin, alkaloid, dan kandungan asam hidrosianat. Kulit ubi kayu menurut Odilia *et al.* (2022) mengandung senyawa antinutrisi yang juga memiliki khasiat antioksidan dan antimikroba yang potensial.

Hasil analisis Okoro *et al.* (2019) menyebutkan kulit ubi kayu mengandung flavonoid, kaempferol, quercetin, alkaloid, tanin, phlobatannin, antrakuinon, saponin, antrosianosida, dan gula pereduksi. Selain itu ubi kayu ternyata juga mengandung sianida. Flavonoid merupakan senyawa pertahanan tumbuhan yang dapat bersifat menghambat makan serangga dan juga bersifat toksik. Saponin memiliki sifat beracun bagi hewan berdarah dingin dan dapat menghambat aktivitas makan serangga (antifeedant) sehingga dapat digunakan biopestisida. Penelitian Ervina (2014) menunjukkan bahwa kulit ubi kayu dapat digunakan sebagai larvasida *Aedes aegypti*. Kulit ubi kayu mengandung senyawa aktif saponin dan flavonoid yang diduga dapat memberikan efek larvasida. Pada kulit ubi kayu juga terdapat senyawa tanin yang diketahui dapat mengendalikan larva *Helicoverpa armigera* (Karsalina *et al.*, 2017). Berdasarkan latar belakang tersebut, peneliti telah melakukan skrining fitokimia ekstrak kulit petai dan kulit ubi kayu, serta menguji bagaimana efek kedua ekstrak

terhadap kemampuan makan, *Feeding deterrent index* (FDI) dan kemampuan metamorfosis larva *A. diaperinus* yang terpapar ekstrak limbah kulit petai dan kulit ubi kayu pada berbagai level konsentrasi di laboratorium.

METODE PENGUJIAN

Kulit petai dan kulit ubi kayu sebagai bahan uji dikoleksi dari rumah herbal Temu Gesang yang berlokasi di Grabag, Magelang. Subyek uji larva dan dewasa *A. diaperinus* diperoleh dari hasil pembiakan di laboratorium Biologi FMIPA Universitas Negeri Semarang. Pengujian didesain eksperimen dengan melibatkan dua faktor uji yaitu jenis ekstrak (ekstrak kulit petai dan ekstrak kulit ubi kayu), dan berbagai level konsentrasi ekstrak. Eksperimen dilakukan dalam tiga kegiatan. Kegiatan 1 menguji kelangsungan hidup larva, kegiatan 2 menguji kemampuan makan larva dan kegiatan 3 menguji kemampuan metamorfosis larva.

1. Pembuatan Ekstrak.

Kulit petai dan ubi kayu yang telah dipotong kecil-kecil, dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 50 °C. Setelah kering, masing-masing dibuat serbuk. Proses ekstraksi kedua macam serbuk dilakukan secara terpisah dengan cara mengambil masing-masing sebanyak 500 gram sampel serbuk. Serbuk kemudian dimaserasi dengan pelarut etanol 95% selama 3 x 24 jam, lalu diperas hingga diperoleh filtrat. Filtrat yang diperoleh dipisahkan dengan rotary evaporator, dan ekstrak pekat inilah yang diasumsikan sebagai ekstrak konsentrasi 100% dan digunakan sebagai bahan uji. Untuk mendapatkan berbagai konsentrasi ekstrak dalam pengujian, dilakukan dengan pengenceran ekstrak pekat 100% menggunakan pelarut akuades. Setiap level konsentrasi disiapkan sediaan ekstrak sebanyak 1000 µL. dengan perbandingan ekstrak pekat dan akuades sesuai perlakuan.

2. Analisis Fitokimia Ekstrak

Fitokimia merupakan senyawa bioaktif yang terdapat pada organ tanaman. Uji fitokimia terhadap ekstrak kulit petai dan kulit ubi kayu dilakukan terutama untuk mendeteksi keberadaan

senyawa-senyawa flavonoid, fenolik, saponin, terpenoid, alkaloid dan tanin. Selanjutnya senyawa bioaktif dalam ekstrak diidentifikasi dengan GC- MS QP2010S Shimadzu. Sampel sebanyak 1 μ L diinjeksikan dalam GC-MS yang dioperasikan menggunakan kolom kaca panjang 30 m, diameter 0,25 mm dan ketebalan 0,25 μ m dengan gas pembawa Helium. Suhu kolom yang digunakan sebesar 70 $^{\circ}$ C dan suhu injeksi sebesar 310 $^{\circ}$ C. Hasil analisis GC-MS berupa grafik kromatogram dengan beberapa puncak yang menggambarkan senyawa aktif teridentifikasi, disertai tabel senyawa aktif teridentifikasi beserta persen area. Persentase area juga mengindikasikan seberapa besar persentase senyawa tersebut terdeteksi terkandung dalam ekstrak. Interpretasi pada spektrum massa GC-MS dilakukan dengan menggunakan database National Institute Standard dan Technology (NIST).

3. Preparasi Serangga Uji

Sampel kutu dewasa *A. diaperinus* yang diambil dari salah satu peternakan ayam di wilayah Sekaran, Gunungpati diaklimasi di laboratorium dan dibiakkan. Kurang lebih 400 ekor jantan dan betina dibagi kedalam 4 container /wadah pemeliharaan dengan media serasah berasal dari tempat yang sama, serta ditambahkan pakan ayam komersial. Dalam wadah ditempatkan lembaran busa untuk pelindung sekaligus tempat bertelur hingga menetas. Untuk menjaga kelembaban dan kebutuhan air bagi serangga, di dalam wadah disediakan irisan buah mentimun. Setiap minggu, kutu dewasa dipindahkan ke wadah lain, sedangkan wadah sebelumnya diinkubasi. Larva yang menetas diasumsikan memiliki umur yang relatif sama. Larva inilah yang digunakan sebagai hewan uji pada pengujian kemampuan makan dan kemampuan metamorfosis. Sedangkan uji kelangsungan hidup digunakan serangga dewasa.

4. Pengambilan Data

Kelangsungan hidup Kutu Kandang. Penghambatan terhadap kelangsungan hidup *A diaperinus* diindikasikan dari persentase kematian yang terjadi selama pengamatan. Pada pengujian ini digunakan kutu kandang dewasa dengan kriteria kesamaan warna dan ukuran. Ekstrak kulit petai dan kulit ubi kayu masing-masing

disiapkan dalam 6 level konsentrasi yaitu 0, 20, 40, 60, 80, 100%. Sebanyak 200 μ L ekstrak di tiap konsentrasi diteteskan ke salah satu sisi di dalam cawan petri. Kemudian setiap 15 kutu kandang dimasukkan ke dalam cup plastik bertutup (diameter 5 cm, tinggi 4,5 cm) agar terjadi kontak langsung antara serangga uji dengan ekstrak. Pengulangan dilakukan sebanyak 4 kali sehingga untuk pengujian dua macam ekstrak diperlukan $2 \times 6 \times 4 = 48$ unit percobaan dan dibutuhkan sebanyak 48×15 ekor = 720 ekor (*unsexed*). Setiap cup plastik kemudian ditambahkan 5 gram pakan di bagian sisi dalam yang lain, lalu ditutup dan di inkubasi di ruang yang terlindung dari sinar matahari. Setiap 24 jam diamati dan dicatat jumlah kutu yang mati. Pencatatan dilakukan pada masa 24 jam, 48 jam dan 72 jam. Jumlah yang mati di hitung dalam persentase mortalitas:

$$M = \frac{r}{n} \times 100\%$$

Dimana M= Mortalitas; r = Jumlah kutu yang mati; n = Jumlah kutu keseluruhan.

Apabila kematian kutu kandang pada kelompok kontrol kurang dari 5%, data mortalitas langsung dianalisis statistik, tetapi jika ditemukan mortalitas antara 5% - 20% di kelompok kontrol, maka harus dilakukan koreksi data dengan formula Abbott (Fuadzy *et al.*, 2015). Rumus koreksi Abbott adalah sebagai berikut.

$$Mt = \frac{Mp - Mo}{100 - Mo} \times 100$$

Dimana Mt = Mortalitas terkoreksi; Mp = Mortalitas pada perlakuan Mo = Mortalitas pada kelompok kontrol

Pengamatan Kemampuan makan. Sebanyak 960 larva yang dipilih dibagi kedalam 48 cup plastik ($\phi = 8$ cm, t = 5cm). Masing-masing cup berisi 20 ekor. Seluruh wadah percobaan diberi tanda untuk membedakan antar perlakuan dan ulangan. Paparan ekstrak dilakukan secara kontak langsung kedalam cup plastik yang berisi larva, dengan cara meneteskan sebanyak 200 μ L Untuk memastikan seluruh larva terpapar ekstrak, tetesan ekstrak ditempatkan di salah satu sudut cup, kemudian kumpulan larva

diarahkan pada bagian tersebut sambil sedikit digoyangkan agar merata. Setelah beberapa saat, tiap wadah diberikan pakan ayam komersial, lembar tisu dan potongan mentimun, selanjutnya diinkubasi di rak perlakuan. Kelangsungan hidup larva diamati setiap minggu, sedangkan jumlah larva yang berhasil menjadi imago (kutu dewasa) diamati sampai minggu ke 7-8. Pada waktu ini larva yang berhasil menjadi pupa diperkirakan sudah bertransformasi menjadi imago.

Indikator penurunan kemampuan makan larva akibat terpapar ekstrak dapat diukur berdasarkan rata-rata konsumsi pakan dan *Feeding deterrence index* (FDI). Nilai FDI dihitung menggunakan rumus:

$$FDI (\%) = \frac{C - T}{C} \times 100$$

di mana C : bobot pakan yang dikonsumsi pada kelompok kontrol dan T : bobot pakan yang dikonsumsi pada kelompok perlakuan (Wang *et al.*, 2020).

Kemampuan metamorfosis. Kemampuan metamorfosis setelah paparan ekstrak diindikasikan dari jumlah larva yang berhasil menjadi imago, setelah melewati pupasi. Pada keadaan normal, larva berubah menjadi imago dalam waktu antara 40 sampai 100 hari (Dinev, 2013). Kemampuan metamorfosis dihitung menggunakan rumus:

$$KM = \frac{VC}{VA} \times 100 \%$$

KM : kemampuan metamorfosis dalam persen; VA : jumlah larva di awal perlakuan; VC : jumlah larva yang berhasil menjadi imago.

5. Analisis Data

Hasil identifikasi senyawa aktif ekstrak menggunakan metode GC-MS disajikan dalam tabel serta dianalisis deskriptif. Kelangsungan hidup serangga dewasa akibat terpapar ekstrak diukur berdasarkan angka mortalitas setelah jangka waktu 3 x 24 jam. Kemampuan makan, nilai FDI dan kemampuan metamorfosis

di analisis ANOVA satu arah dilanjutkan dengan LSD test (*Least Significant Difference*) jika terdapat perbedaan nyata. Namun demikian jika data yang diperoleh tidak terdistribusi normal/tidak homogen, maka dilakukan analisis statistik non parametrik Kruskal Wallis dan uji lanjut menggunakan *Independent Sample* Kruskal Wallis. Untuk mengetahui perbedaan nilai FDI dan kemampuan metamorfosis antara ekstrak kulit petai dan kulit ubi kayu dilakukan analisis uji t- independent.

HASIL PENGUJIAN

1. Hasil Analisis Fitokimia Ekstrak

Analisis fitokimia ekstrak menunjukkan ekstrak kulit petai dan kulit ubi kayu positif mengandung unsur-unsur alkaloid, steroid, terpenoid, flavonoid, fenolik, dan tanin (Nabilah & Widiyaningrum, 2022). Selanjutnya hasil identifikasi ekstrak kulit petai dengan metode GC-MS ditemukan 32 puncak pada grafik khromatogram, dengan luas area yang berbeda-beda. Demikian pula pada khromatogram ekstrak kulit ubi kayu yang memunculkan 28 puncak terdeteksi (Gambar 1.1 dan 1.2). Adapun Tabel 1.2 dan 1.3 masing-masing menyajikan hanya 10 senyawa aktif yang memiliki luas area lebih dari 1% pada masing-masing ekstrak.

Ekstrak Kulit Petai

Di dalam ekstrak kulit petai (Tabel 1.2), teridentifikasi adanya senyawa coumarin, pyrazole, dan *Hydroxyquinol (1,2,4-Benzenetriol)*, yang ditengarai bersifat anti insekta. Coumarin merupakan senyawa fenol, salah satu golongan metabolit sekunder pada tumbuhan (Desi, 2016). Pada penelitian sebelumnya ekstrak kulit petai diketahui memiliki aktivitas antiinflamasi, antioksidan, antialergi, antitrombotik, antivirus dan antikanker (Setiawan & Rakhmawaty, 2014). Dalam uji toksisitas terhadap rayap *Coptotermes curvinagthus* Holmgren (Firdaus & Yuharmen, 2019) Coumarin terbukti memiliki aktivitas anti rayap.

Senyawa pyrazole disebutkan aktivitas insektisida terutama pada serangga uji *Aphis fabae*, sebanding dengan insektisida komersial imidakloprid (Huang *et al.*, 2017). Menurut Paradis *et al.*

(2014), pyrazole bekerja dalam penghambatan transpor elektron kompleks mitokondria.

Senyawa lain yang terdeteksi dalam ekstrak kulit petai adalah *Hydroxyquinol (1,2,4-Benzenetriol)*, yaitu senyawa aromatik dan golongan metabolit sekunder dari polifenol yang merupakan salah satu isomer dari trihidroksi benzena. Isomer lainnya adalah Pyrogallol dan Phloroglucinol (1,3,5-Benzenetriol) (Xin *et al.*, 2019). Senyawa ini diketahui mempunyai aktivitas anti malaria (Hapsari *et al.*, 2022), dan bagi serangga, senyawa ini mempunyai aktivitas sebagai larvasida nyamuk.

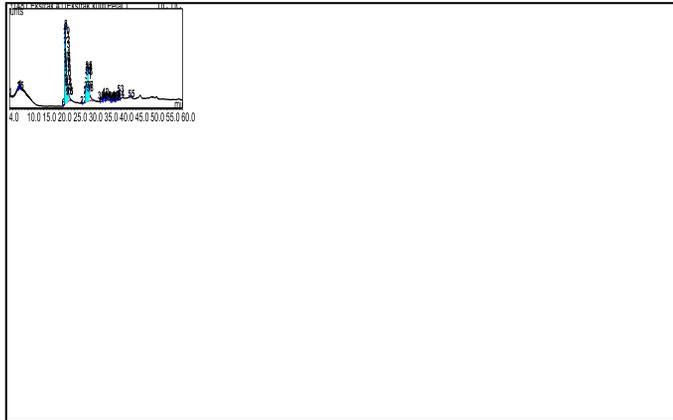
Pyrazole-5-carboxylic acid, merupakan salah satu turunan aryl pyrazole. Uji Bioassay mengungkapkan bahwa turunan aril pirazol yang mengandung 5-fluorouracil menunjukkan aktivitas insektisida yang sangat baik terhadap *Culex pipiens* dan *Musca domestica* pada konsentrasi 0,1%. (Huang *et al.*, 2017).

Ekstrak Kulit Ubi Kayu

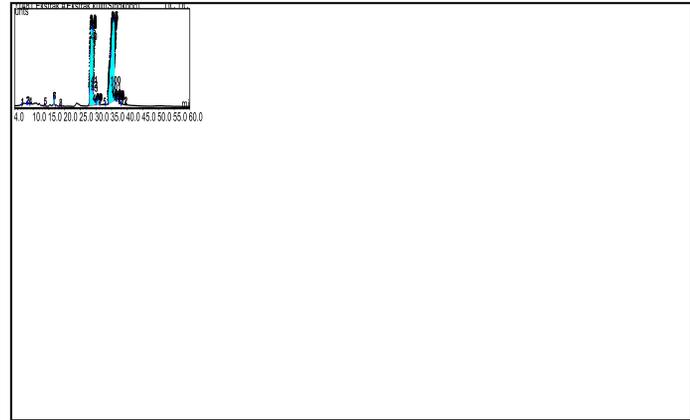
Hasil skrining GC-MS (Tabel 1.2) yang berpotensi mempunyai aktivitas anti insekta antara lain Lotaustralin, Quercetin-3-O-glucoside, oleic acid.

Lotaustralin merupakan salah satu glikosida sianogen yang ditemukan pada ubi kayu. Penelitian Wangari (2013) menunjukkan kandungan HCN tertinggi pada umbi ubi kayu terdapat pada bagian korteks (kulit umbi), diikuti oleh bagian parenkim dan pith (daging). Glikosida sianogenik adalah pertahanan kimia dua komponen yang tersebar luas pada tanaman yang melepaskan toksin pernapasan hidrogen sianida. Sifatnya yang toksik menyebabkan senyawa ini berpotensi sebagai biopestisida.

Quercetin adalah salah satu flavonoid yang paling melimpah di organ tanaman. Secara alamiah quercetin pada tanaman dapat berfungsi sebagai metabolit sekunder untuk mencegah serangan serangga herbivora. Quercetin dapat menjadi bioinsektisida yang efektif untuk mengurangi herbivora tanpa mengganggu musuh alami dan penyerbuk, terutama bagi Hemiptera, Diptera, Lepidoptera dan Coleoptera (Riddick, 2021). Penurunan reproduksi adalah salah satu efek insektisida dari golongan senyawa alkaloid karena dapat menginduksi sistem reproduksi,



Gambar 1.1. Grafik Khromatogram GC-MS dari Ekstrak Kulit Petai (*Parkia speciosa*)



Gambar 1.2. Grafik Khromatogram GC-MS Ekstrak Kulit Ubi Kayu (*Manihot utilissima*)

Tabel 1.1. Senyawa Fitokimia yang Teridentifikasi dari Ekstrak Kulit Petai

No	Retention Time (minute)	Chemical Compound	Compound Nature	Chemical Formula	Mol. Weight	Rel. Area (%)
1.	21.25	<i>Phenol, 2-[5-(2-furyl) pyrazol-3-yl]-4-methoxy-</i>	Phenolic	C14H12N2O3	256	3.86
	21.90	<i>Hydroxyquinol (1,2,4-Benzenetriol)</i>	Polyphenol	C6H6O3	126	14.48
2.	22.18	<i>Pyrazole-5-carboxylic acid, 3-methyl-</i>	Alkaloids	C5H6N2O2	126	5.03
3.	28.70	<i>Melezitose</i>	trisaccharide	C18H32O16	504	7,19
4.	29.13	<i>3-O-Methyl-d-glucose</i>	glucose	C7H14O6	194	5.73
5.	29.29	<i>Desulphosinigrin</i>		C10H17NO6S	279	1.30
6.	34.16	<i>Ethyl iso-allocholate</i>	Fatty acid	C26H44O5	436	2.09
7.	34.67	<i>Hexadecanoic acid, ethyl ester</i>	Fatty acid	C18H36O2	284	4.52
8.	35.28	<i>β-Sitosterol</i>	Phytosterols	C29H50O	414	2.72
9.	38.17	<i>cis-Vaccenic acid</i>	Fatty acid	C18H34O2	282	2.33
10	39.56	<i>Coumarin, 3,4,4a,5,6,8a-hexahydro-6,8a-epidioxy-4a,6-dimethyl-</i>	phenolic	C11H14O4	210	5.83

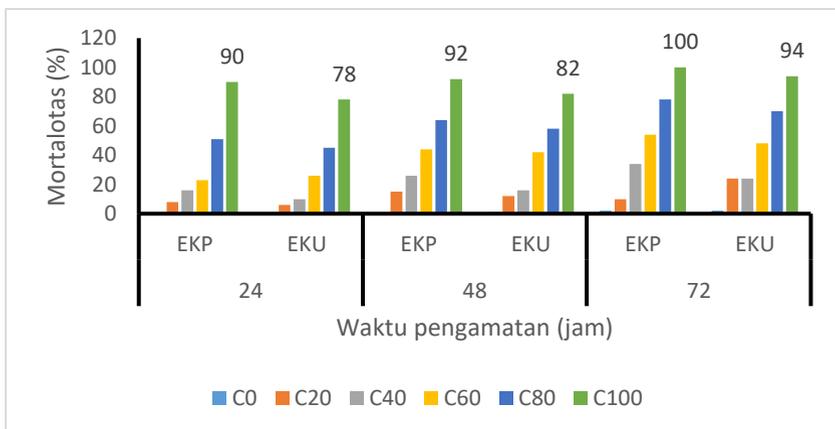
Tabel 1.2. Senyawa Fitokimia yang Teridentifikasi dari Ekstrak Kulit Ubi Kayu

No	Ret.Time (minute)	Chemical Compound	Compound Nature	Chemical Formula	Mol. Weight	Rel. Area (%)
1.	13.64	Acetamide, N-(2-acetyl-3-oxo-4- isoxazolidinyl)-	-	C7H10N2O4	186	1.43
2.	16.56	Ascaridole epoxide	monoterpenoid	C10H16O3	184	2.19
3.	18.56	Lotaustralin	cyanogenic glycosides	C11H19NO6	196	2,15
4.	21.12	5-Hydroxymethylfurfural		C6H6O3	126	1.67
5.	22.04	Oleic Acid	Fatty acid			
6.	28.69	Quercetin-3-O-glucoside	Flavonoid	C21H20O12	180	1.56
7.	28.99	Ethyl α -D-glucopyranoside	glycoside	C8H16O6	208	14.62
8.	29.14	D-Mannose	glucose	C6H12O6	180	2.77
9.	35.09	Melezitose	trisaccharide	C18H32O16	504	14.29
10.	35.32	α -Methyl-D-mannopyranoside	Phenolic	C7H14O6	194	3.06
	35.51	Maltose	disaccharide	C12H22O11	342	2.31

menunjukkan penurunan produksi oosit dan peningkatan reabsorpsi oosit yang terbentuk, yang menghambat pematangan telur dan mengganggu perkembangan serangga (Chowanski *et al.*, 2016).

2. Tingkat Kelangsungan Hidup Serangga

Mortalitas merupakan indikator adanya aktivitas toksik ekstrak kulit petai dan ubi kayu sehingga menghambat kelangsungan hidup serangga. Untuk membuktikan apakah ekstrak kulit petai dan kulit ubi kayu menghambat kelangsungan hidup *A. diaperinus*, dilakukan uji mortalitas terhadap kutu kandang dewasa yang dipapar berbagai konsentrasi ekstrak selama 3x24 jam. Selama pengamatan, suhu ruangan berkisar antara 28° - 29°C, dengan kelembaban antara 78%- 84%. Hasil uji mortalitas selama 3 x 24 jam disajikan dalam gambar grafik batang (Gambar 1.3).



Gambar 1.3. Mortalitas Dewasa *A. diaperinus* yang Terpapar Ekstrak Selama Pengamatan 3 x 24 Jam (EKP: Ekstrak Kulit Petai; EKU: Ekstrak Kulit Ubi Kayu)

Gambar 1.3 mengindikasikan bahwa dalam waktu 24 jam, tingkat kematian *A. diaperinus* lebih dari 50% hanya terjadi pada perlakuan ekstrak kulit petai C100, sedangkan pada kelompok EKU – C100 terjadi kematian sebesar 78%. Ini menunjukkan bahwa ekstrak kulit petai dan kulit ubi kayu bersifat toksik apabila

paparan diberikan dalam konsentrasi tinggi (100%). Kedua ekstrak tampaknya mampu membunuh dewasa *A. diaperinus*, hingga 90%, namun dalam konsentrasi tinggi serta membutuhkan waktu 3 x 24 jam. Hal ini menunjukkan metabolit sekunder yang terkandung dalam kulit petai dan kulit ubi kayu memiliki aktivitas toksik. Aktivitas metabolit sekunder dapat mempengaruhi serangga pada tingkat sel, jaringan dan organ, tergantung konsentrasi paparan. Chowański *et al.* (2016) mengemukakan pengaruh fisiologis meliputi perubahan subletal dalam berbagai jaringan dan organ, hingga pada akhirnya dapat menyebabkan kematian. Arivoli & Tennyson (2020) melaporkan bahwa efek sinergis dari campuran senyawa fitokimia yang ada pada ekstrak tanaman berperan penting sebagai solusi pertahanan diri terhadap gangguan serangga. Beberapa senyawa, baik secara terpisah atau sinergis, memberikan efek yang bervariasi, termasuk efek antifeedant, toksik, atau bertindak sebagai penghambat kerja hoormon pertumbuhan/metamorfosis.

3. Penurunan Kemampuan Makan *A. diaperinus*

Perubahan kemampuan makan *A. diaperinus* diamati dan diukur berdasarkan rata-rata penurunan konsumsi pakan setelah diberi perlakuan ekstrak kulit petai dan kulit ubikayu. Selama 4 minggu pengamatan, konsumsi pakan diukur. Data konsumsi pakan kemudian di analisis menggunakan analisis statistik ANOVA untuk mengetahui apakah perlakuan jenis dan konsentrasi ekstrak berpengaruh signifikan terhadap konsumsi pakan *A. diaperinus*.

Selanjutnya berdasarkan uji beda LSD, diketahui bahwa rata-rata konsumsi pakan selama pengujian menunjukkan tren menurun sejalan dengan peningkatan konsentrasi paparan kedua macam ekstrak (Tabel 1.3). Dengan paparan konsentrasi makin pekat, kemampuan serangga uji dalam mengkonsumsi pakan semakin menurun.

Konsumsi pakan terendah pada kedua perlakuan ekstrak terjadi pada C50. Pada perlakuan ekstrak kulit petai, konsumsi terendah sebesar 5,04 mg/minggu. Jika dibandingkan dengan-

Tabel 1.3. Tabel Rata-rata Konsumsi Pakan *A. diaperinus* Selama Pengujian (4 Minggu)

Konsentrasi Ekstrak (%)	Rata-Rata Konsumsi Pakan (mg/ekor/minggu)	
	Kulit Petai	Kulit Ubikayu
0	14.06 ^a	13.46 ^a
10	9.79 ^b	11.93 ^a
20	10.33 ^b	10.36 ^b
30	9.36 ^b	9.64 ^b
40	7.79 ^b	9.26 ^b
50	5.04 ^c	6.26 ^c
Rata-rata	9.39 ^d	10.15 ^d

Keterangan. Superskrip huruf yang berbeda dalam kolom /baris rata rata menunjukkan adanya perbedaan signifikan pada taraf 5% berdasarkan uji LSD.

kelompok kontrol, maka penurunan konsumsi pada perlakuan C50 mencapai angka 64,15%. Sedangkan, konsumsi pakan perlakuan C50 pada kulit ubikayu sebesar 6.26 mg/minggu, dengan angka penurunan konsumsi sebesar 53,49%. Dengan uji beda LSD (*Least Significance Different*) diketahui bahwa perlakuan konsentrasi C50 memberikan efek terbaik dalam menurunkan konsumsi pakan. Menurut Arivoli & Tennyson (2020), aktivitas antifeedant bekerja dengan mekanisme menghambat respon sel reseptor yang sensitif terhadap stimulan makan seperti keinginan makan atau indera perasa dan tidak lagi mengenali pakannya.

Untuk mengetahui seberapa kuat efek ekstrak terhadap penghambatan kemampuan makan kutu kandang (efek antifeedant), dapat dilihat berdasarkan angka FDI (*Feeding Deterrent Index*) (Widiyaningrum *et al.*, 2020) yang kemudian di konversi ke dalam kriteria kualitatif (Tabel 1.4).

Efek antifeedant ekstrak dapat digolongkan kedalam lima kriteria berdasarkan nilai FDI yaitu:

- Nilai FDI < 30%: tidak memberikan efek antifeedant;
- 50% > FDI ≥ 30%: efek antifeedant kategori rendah;
- 70% > FDI ≥ 50%; efek antifeedant kategori sedang; dan
- FDI ≥ 70%; efek antifeedant kuat.

Tabel 1.4. Nilai FDI Ekstrak Kulit Petai dan Kulit Ubi Kayu

No.	Ekstrak	Konsentrasi (%)	FDI (%)
1.	Kulit Petai	10	30,38
		20	26,52
		30	33,44
		40	44,56
		50	64,12
2.	Kulit Ubikayu	10	11,32
		20	22,98
		30	28,37
		40	31,16
		50	53,66

Dengan demikian, ekstrak kulit petai dan kulit ubikayu sama-sama terindikasi memiliki efek antifeedant kategori sedang.

Aktivitas makan pada serangga umumnya dapat berhenti karena pengaruh zat kimia yang merangsang kemoreseptor yang kemudian mempengaruhi kinerja jaringan syaraf serangga atau merusak jaringan organ pencernaan, serta kelenjar yang menghasilkan enzim (Fathoni *et al.*, 2013). Metabolit sekunder yang bersifat antifeedant adalah senyawa yang dapat mempengaruhi perilaku makan serangga, seperti kehilangan kemampuan mengenali pakannya, menghambat kemampuan makan, atau menurunkan nafsu makan sehingga pada akhirnya menyebabkan kelaparan hingga terjadi kematian. Senyawa yang bersifat antifeedant banyak ditemukan pada tanaman karena secara alamiah senyawa tersebut bertindak sebagai pelindung diri terhadap serangan serangga herbivora. Mohammed (2014) melaporkan golongan senyawa metabolit sekunder yang dapat menghambat kemampuan makan serangga atau memiliki aktivitas antifeedant dari tanaman adalah fenol, alkaloid, quassinoid, chromenes, saponin, polyacetylenes, cucurbitacins, asam siklopropanoid, terpenoid dan turunannya. Siamtuti *et al.* (2017) menyebutkan senyawa metabolit sekunder yang memiliki aktivitas *antifeedant* kuat adalah tanin yang bertindak sebagai antinutrient dan inhibitor enzim yang dapat menyebabkan serangga mengalami kelaparan hingga kematian.

4. Kemampuan Metamorfosis Serangga *A. diaperinus*

Kemampuan metamorfosis *A. diaperinus* dalam penelitian ini diukur berdasarkan jumlah larva yang dihasilkan dan jumlah larva yang berhasil bermetamorfosis menjadi imago, kemudian dikonversikan kedalam persen (Tabel 1.5).

Tabel 1.5. Data Kemampuan Metamorfosis *A. diaperinus* yang Terpapar Ekstrak Kulit Petai dan Kulit Ubi Kayu pada Berbagai Konsentrasi

Konsentrasi ekstrak (%)	Ekstrak Kulit Petai			Ekstrak Kulit Ubikayu		
	Jml Larva (Ekor)	Jml Imago (Ekor)	Meta-morfosis (%)	Jml Larva (Ekor)	Jml Imago (Ekor)	Meta-Morfosis (%)
0	31	31	100.00	34	32	92.65
10	35	26	74.10	36	15	40.56
20	33	25	75.57	36	11	30.34
30	34	11	32.84	34	9	25.19
40	27	9	31.48	21	5	22.35
50	6	1	21.74	15	3	20.34

Oleh karena data tidak terdistribusi normal, uji statistik non parametrik Kruskal Wallis digunakan untuk menganalisis apakah perbedaan konsentrasi ekstrak berpengaruh terhadap jumlah larva yang dihasilkan dan jumlah larva yang mampu bermetamorfosis. Hasil uji Kruskal Wallis menunjukkan rata-rata jumlah larva yang dihasilkan tidak berbeda nyata antar perlakuan, namun persentase larva yang berhasil menjadi imago berbeda antar perlakuan (Asymp. Sig < 0,05), baik pada perlakuan ekstrak kulit petai maupun ekstrak kulit ubi kayu.

Data kemampuan metamorfosis diuji lanjut menggunakan uji Independent Samples Kruskal Wallis untuk mengetahui perlakuan manakah yang mempunyai perbedaan signifikan diantara level perlakuan konsentrasi. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 1.6. Pada perlakuan ekstrak kulit petai, hanya perlakuan C50 yang memberikan pengaruh berbeda dibandingkan dengan kontrol.

Sedangkan pada ekstrak kulit ubi kayu, kecenderungan yang berbeda ditemukan pada C40 dan C50 dibandingkan kontrol.

Tabel 1.6. Hasil Uji Independent Sample Kruskal Wallis terhadap Jumlah Imago pada Perlakuan Ekstrak Kulit Petai dan Ubi Kayu

No.	Perbedaan Konsentrasi Ekstrak (%)	Adj. Sig. Ekstrak Kulit Petai	Adj. Sig. Ekstrak Kulit Ubi Kayu
1.	C50 - C40	1,000	1,000
2.	C50 - C30	1,000	1,000
3.	C50 - C20	0,087	0,905
4.	C50 - C10	0,031*	0,171
5.	C50 - C0	0,009*	0,003*
6.	C40 - C30	1,000	1,000
7.	C40 - C20	1,000	1,000
8.	C40 - C10	0,673	0,677
9.	C40 - C0	0,276	0,022*
10.	C30 - C20	1,000	1,000
11.	C30 - C10	1,000	1,000
12.	C30 - C0	1,000	0,499
13.	C20 - C10	1,000	1,000
14.	C20 - C0	1,000	1,000
15.	C10 - C0	1,000	1,000

Ket. Adanya perbedaan dinyatakan dengan nilai Adj. Sig. < 0,05.

*) menunjukkan perbedaan

Dengan demikian senyawa aktif yang terkandung dalam ekstrak kulit petai maupun ekstrak kulit ubi kayu keduanya dapat mempengaruhi kemampuan metamorfosis larva *A. diaperinus*. Jika dilihat dari data imago (Tabel 1.5), perlakuan ekstrak kulit petai konsentrasi 50% mampu menurunkan jumlah imago hingga 96,77% dibanding kontrol. Sedangkan pada perlakuan ekstrak kulit ubi kayu perlakuan 40% mengalami penurunan hingga 84,37%, dan pada konsentrasi 50% menurun hingga 90,62% dibanding kontrol. Namun demikian berdasarkan analisis uji t independent, kedua ekstrak secara statistik kemampuan metamorfosis tidak menunjukkan perbedaan (nilai signifikansi > 0.05).

Kulit petai dan kulit ubi kayu diketahui memiliki efek toksik terhadap hewan karena mengandung senyawa kimia dari golongan alkaloid, terpenoid, flavonoid, tanin, steroid dan fenolik yang memiliki berbagai aktivitas enzimatis dan penghambatan (Sayono *et al.*, 2019). Flavonoid diketahui bersifat menghambat makan serangga dan juga bersifat toksis (Iftita, 2016). Senyawa aktif yang masuk ke dalam tubuh imago akan menyebabkan keracunan yang ditandai dengan perubahan warna, ukuran dan aktivitasnya. Imago yang teracuni akan berubah warna dan ukurannya menjadi kecil (mengkerut), dan akhirnya mati. Selain itu alkaloid juga mampu menghambat kinerja hormon pertumbuhan imago, terutama tiga hormon utama yaitu hormon otak (*brain hormone*), hormon edikson, dan hormon pertumbuhan (*juvenile hormone*). Tidak berkembangnya hormon tersebut dapat menyebabkan kegagalan metamorfosis.

SIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa limbah kulit petai dan kulit ubikayu berpotensi menjadi bahan sumber bioinsektisida alternatif dalam pengendalian hayati serangga hama peternakan *Alphitobius diaperinus*. Hasil pengujian membuktikan bahwa kedua ekstrak tersebut mengandung senyawa aktif yang mampu menghambat kemampuan makan dan metamorfosis serangga.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Universitas Negeri Semarang. Artikel ini merupakan sebagian dari hasil penelitian yang telah dibiayai oleh DIPA (Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran) Universitas Negeri Semarang Nomor: DIPA-023.17.2.677507/2022 tanggal 17 bulan November tahun 2021 dengan Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Penelitian Dana DIPA UNNES Tahun 2022 Nomor 2.8.3/UN37/PPK.3.1/2022 tanggal 08 Maret 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- Adejumo O.O., 2019. Investigating Cassava Root Cortex Peels as a Potential Source of Toxic Contaminant. *EC Nutrition*, 14, pp.153-157.
- Agabou A., & Alloui N., 2010. Importance of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) as a Reservoir for Pathogenic Bacteria in Algerian Broiler Houses. *Vet. World*, 3, pp.71-73.
- Arivoli, S., & Tennyson, S., 2020. Antifeedant Activity of Leaf Extracts against *Spodoptera litura* Fabricius 1775 (Lepidoptera : Noctuidae) Highlighting the Mechanism of Action. *London Journal of Research in Science: Natural and Formal*, 20(4), pp.67-80.
- As'ad, M.F., Kaidi, F.N.U., & Syarief, M., 2019. Status Resistensi Walang Sangit (*Leptocorisa acuta* F.) terhadap Insektisida Sintetik dan Kepekaannya terhadap *Beauveria bassiana* pada Tanaman Padi. *Agriprima, Journal of Applied Agricultural Sciences*, 3(2), pp.79-86.
- Atmaja, K.S., & Hendrayana, M.A., 2019. Aktivitas Daya Hambat Ekstrak Etil Asetat Kulit Petai (*Parkia Speciosa* Hassk) terhadap Pertumbuhan Bakteri *Klebsiella Pneumoniae*. *E-Jurnal Medika Udayana*, 8(1), pp.67-74.
- Chowański, S., Adamski, Z., Marciniak, P., Rosiński, G., Büyükgüzel, E., Büyükgüzel, K., Falabella, P., Scrano, L., Ventrella, E., Lelario, F., & Bufo, S.A., 2016. A Review of Bioinsecticidal Activity of Solanaceae alkaloids. *Toxins*, 8(3), pp.1-28.
- Desi, K., 2016. Isolasi Senyawa Metabolit Sekunder dari Fraksi Etil Asetat Tumbuhan Rumput Mutiara (*Hedyotis corymbosa* L.) dan Uji Toksisitas dengan Metode Brine Shrimp Lethality Test (BSLT). *Disertasi*. Universitas Andalas.
- Dinev, I., 2013. The Darkling Beetle (*Alphitobius diaperinus*)—A Health Hazard for Broiler Chicken Production. *Trakia J. Sci*, 11, pp.1-4.
- Ervina, N., 2014. Uji Aktivitas Ekstrak Etanol Daun Singkong (*Manihot utilissima* Pohl) Sebagai Larvasida *Aedes aegypti*. *Jurnal Mahasiswa PSPD FK Universitas Tanjungpura*, 1(1), pp.1-16.

- Fajrin, F.I., & Susila, I., 2019. Antioxidant Potential in Petai Peel (*Parkia Speciosa*). *Jurnal Midpro*, 11(2), pp.161-168.
- Fathoni, M., Yanuwadi, B., & Leksono, A.S., 2013. The Effectiveness of Combination Mahogany (*Swietenia mahogany*) Seed and Sour Sup (*Annona muricata*) Leaf Pesticide to the Time of Stop Feeding and LC50 Mortality on Armyworm (*Spodoptera litura* F.). *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)*, 3(11), pp.71-77.
- Firdaus, M., & Yuharmen, Y., 2018. Uji Aktivitas Senyawa Golongan Kumarin Dari Ekstrak Etil Asetat Daun Suren (*Toona sureni* (Blume) Merr), pp.1-10.
- Gilani, G.S., Wu-Xiao, C., & Cockell, K.A., 2012. Impact of Antinutritional Factors in Food Proteins on the Digestibility of Protein and the Bioavailability of Amino Acids and on Protein Quality. *British Journal of Nutrition*, 108(2), pp. S315-S332.
- Hapsari, Y., Septiana, E., Rachman, F., Syamsiah, S., Kusharyoto, W., Heliawati, L., Bustanussalam., Rahmawati, S.I., Izzati, F.N., & Simanjuntak, P., 2022. Potensi Aktivitas Antimalaria dari Ekstrak Air Daun Jung Rahab (*Baekkea Frutescens*). *Biopropal Industri*, 12(2), pp.80-89.
- Hazeleger, W.C., Bolder, N.M., Beumer, R.R., & Jacobs-Reitsma, W.F., 2008. Darkling beetles (*Alphitobius diaperinus*) and Their Larvae as Potential Vectors for the Transfer of *Campylobacter jejuni* and *Salmonella enterica* Serovar Paratyphi B variant Java between Successive Broiler Flocks. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(22), pp.6887-6891.
- Huang, D., Liu, A., Liu, W., Liu, X., Ren, Y., Zheng, X., Pei, H., Xiang, J., Huang, M., & Wang, X., 2017. Synthesis and Insecticidal Activities of Novel 1H-pyrazole-5-carboxylic Acid Derivatives. *Heterocyclic Communications*, 23(6), pp.455-460.
- Iftita, F.A., 2016. Uji Efektifitas Rendaman Daun Ubi kayu (*Manihot utilissima*) Sebagai Insektisida Terhadap Nyamuk *Aedes*

- Aegypti* Dengan Metode Elektrik Cair. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 2016, pp.20-29.
- Karsalina, S.A., Hadiastono, T., Martosudiro, M., & Bedjo, B., 2017. Pengaruh Ekstrak Bahan Nabati Sebagai Pelindung Infektivitas *Spodoptera Litura* Nuclear Polyhedrosis Virus JTM 97 C terhadap Radiasi Sinar Ultraviolet untuk Mengendalikan *Helicoverpa armigera* Hubner (Lepidoptera: Noctuidae). *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan*, 5(2), pp.52-60.
- Lambkin, T.A., & Furlong, M.J., 2014. Application of Spinosad Increases the Susceptibility of Insecticide-Resistant *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) to Pyrethroids. *J. Econ. Entomol*, 107, pp.1590–1598.
- Lyons, B.N., Crippen, T.L., Zheng, L., Teel, P.D., Swiger, S.L., & Tomberlin, J.K., 2017. Susceptibility of *Alphitobius diaperinus* in Texas to Permethrin and b-cyfluthrin-treated Surfaces. *Pest Manag. Sci.*, 73, pp.562–567.
- Meilina, S., 2017. Pengaruh Ekstrak Teripang (Holothuroidea) terhadap Gambaran Mikroskopis Sel Darah dari Mencit (*Mus Musculus*) yang Terkontaminasi Pestisida Diazinon. *Disertasi*, Universitas Brawijaya.
- Mohammed, M., 2014. Prospect of Antifeedant Secondary Metabolites As Post. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(1), pp.8701–8708.
- Nabilah, A.R., & Widiyaningrum, P., 2022. Analisis Fitokimia Ekstrak Kulit Petai dan Ubi Kayu Serta Pengaruhnya terhadap Kemampuan Metamorfosis Kutu Kandang. *Prosiding Seminar Nasional IP2B VI*. Universitas Negeri Surabaya.
- Odilia, M.R., Putri, D.T.Z.A., Rosetyadewi, A.W., Wijayanti, A.D., Budiyanto, A., Jadi, A.R., & Pratama, A.M., 2022. Identification of Antinutritional, Antioxidant, and Antimicrobial Activity of Plants that Cause Livestock Poisoning in Bojonegoro Regency, Indonesia. *Veterinary World*, 15(9), pp.2131-2140.

- Okoro, I.O., Kadiri, H.E., & Aganbi, E., 2019. Skrining Fitokimia Perbandingan, di Vivo Efek Antioksidan dan Nefroprotektif Ekstrak Daun Ubi kayu pada Tikus yang Mabuk Parasetamol. *Jurnal Laporan dalam Ilmu Farmasi*, 2019, pp.188-194.
- Osipitan, A.A., Sangowusi, V.T., Lawal, O.I., & Popoola, K.O., 2015. Correlation of Chemical Compositions of Cassava Varieties to Their Resistance to *Prostephanus truncatus* Horn (Coleoptera: Bostrichidae). *Journal of Insect Science*, 15(1), pp.1-7.
- Paradis, D., Bérail, G., Bonmatin, J.M., & Belzunces, L.P., 2014. Sensitive Analytical Methods for 22 Relevant Insecticides of 3 Chemical Families in Honey by GC-MS/MS and LC-MS/MS. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 406(2), pp.621-633.
- Ramadani, G., 2018. Pengaruh Ekstrak Kulit Petai (*Parkia speciosa*) sebagai Antioksidan Alami pada Pemakaian Minyak Goreng Deep Frying terhadap Kadar MDA Hepar Mencit (*Mus musculus*). *J Saintika Med*. 8(1), pp.2002-7.
- Riddick, E.W., 2021. Potential of Quercetin to Reduce Herbivory without Disrupting Natural Enemies and Pollinators. *Agriculture*, 11(6), pp.476.
- Renault, D., & Colinet, H., 2021. Differences in the Susceptibility to Commercial Insecticides among Populations of the Lesser Mealworm *Alphitobius diaperinus* Collected from Poultry Houses in France. *Insects*, 12(4), pp.309, pp.1-14.
- Salaki, C.L., Paendong, E., & Pelealu, J., 2012. Biopestisida Dari Ekstrak Daun Pangi (*Pangium sp*) terhadap Serangga *Plutella xylostella* di Sulawesi Utara. *Eugenia*, 18(3), pp.171-178.
- Sayono, Safira, F.A., & Anwar, R., 2019. In-vitro Study on the Larvicidal Activity of *Manihot glaziovii* Peel Extract against *Aedes aegypti* Larvae. *Annals of Parasitology*, pp.403-410.
- Setiawan, D., & Rakhmawaty, D., 2014. Sintesis Dan Karakterisasi Senyawa 3, 3'-Benzilidena Bis-4-Hidroksi Kumarin Untuk

- Sediaan Radioterapi. *Chimica et Natura Acta*, 2(3), pp.154-159.
- Siamtuti, W.S., Aftiarani, R., Wardhani, Z., Kusuma, A.N., & Hartoko, I.V., 2017. Potensi Tannin Pada Ramuan Ngingang. *Bioeksperimen*, 3(2), pp.83-93.
- Sumartini., 2016. Biopestisida untuk Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman Aneka Kacang dan Umbi. *IPTEK Tanaman Pangan*, 2016, pp.159-166.
- Tunsaringkarn, T., Soogarun, S., Rungsiyothin, A., & Palasuwan., 2012. Inhibitory Activity of Heinz Body Induction in Vitro Antioxidant Model and Tannin Concentration of Thai Mimosaceous Plant Extracts. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(24), pp.4096-4101.
- Utami, A., Dadang, D., Nurmansyah, A., & Laba, I.W., 2017. Tingkat Resistensi *Helopeltis antonii* (Hemiptera: Miridae) pada Tanaman Kakao terhadap Tiga Golongan Insektisida Sintetis. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*, 4(2), pp.89-98.
- Verawaty., 2016. Pengaruh Konsentrasi Ekstrak Etanol Kulit dan Biji Petai (*Parkia speciosa* hassk) terhadap Bakteri *Escherichia coli*. *J Akad Farm Pray*, 1(1), pp.8-12.
- Wang, Y., Zhang, L.T., Zhang, D., Guo, S.S., Xi, C., & Du, S.S., 2020. Repellent and Feeding Deterrent Activities of Butanolides and Lignans Isolated from *Cinnamomum camphora* against *Tribolium castaneum*. *Journal of Chemistry*, 2020, pp.1-7.
- Wangari, M.F., 2013. Potential Toxic Levels of Cyanide in Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) Grown in Some Parts of Kenya. *Theses*, Kenyatta University.
- Widiyaningrum, P., Indriyanti, D.R., Priyono, B., Asiyah, N., & Putri, P.L.F., 2020. Antifeedant Effect of Some Medicinal Plant Extracts Against Rice Weevil. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 23(7), pp.953-958.
- Xin, M., Guo, S., Zhang, W., Geng, Z., Liang, J., Du, S., Deng Z., & Wang, Y., 2017. Chemical Constituents of Supercritical Extracts from *Alpinia officinarum* and the Feeding Deterrent

Activity Against *Tribolium castaneum*. *Molecules*, 22(4), pp.1-12.

BAB II. KONSERVASI LAHAN DALAM PERSPEKTIF PERUBAHAN IKLIM PASCA PANDEMI COVID-19

**Talitha Widiatningrum¹, Sucihatiningsih Dian Wisika
Prajanti², Subiyanto³, Efriyani Sumastuti⁴, Dhea Rizky
Amelia⁵, Fauzul Adzim⁶**

¹Pendidikan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan
Alam, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

²Ekonomi Pembangunan, Fakultas Ekonomi, Universitas Negeri
Semarang, Indonesia

³Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang

⁴Manajemen, Fakultas Ekonomi, Universitas PGRI Semarang,
Indonesia

⁵Program Studi Magister Ilmu Ekonomi dan Studi Pembangunan
(MIESP), Universitas Diponegoro

talitha_widiatningrum@mail.unnes.ac.id; dianwisika@yahoo.com;
subiyanto@mail.unnes.ac.id; efriyanisumastuti@upgris.ac.id;
dheerizky@gmail.com ; fauzuladzim58@gmail.com
DOI: <https://doi.org/10.15294/ka.v1i2.146>

ABSTRAK

Ancaman lingkungan yang serius seperti tanah longsor dan erosi merupakan konsekuensi logis dari adanya konversi lahan akibat peningkatan jumlah penduduk dan kegiatan pembangunan lainnya. Diperlukan intervensi untuk mencapai pembangunan berkelanjutan salah satunya melalui konservasi lahan. Sejalan dengan hal tersebut, pandemi Covid-19 telah mendorong setiap orang untuk memikirkan kembali hubungan mereka dengan lingkungan, dan untuk mempertimbangkan konsekuensi atas aktivitas yang dilakukannya terhadap kesejahteraan manusia dan kelangsungan hidup ke depannya. Dalam rangka membantu memerangi perubahan iklim ditengah ancaman degradasi lahan,

erosi dan tanah longsor diperlukan konservasi tanah yang berfokus untuk menjaga stabilisasi lereng dan perlindungan erosi tanah melalui kombinasi praktik dan teknik. Perbaikan tanah yang efisien menggunakan teknik struktural telah berhasil di negara maju, sedangkan di negara berkembang, termasuk di Indonesia teknik yang sama belum begitu produktif. Hal tersebut dikarenakan metode structural yang mahal, tidak cocok untuk lereng alami, dan cenderung tidak ramah lingkungan. Salah satu alternatif yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah melalui teknik bioteknologi tanah. Teknik ini merupakan alternatif pengelolaa lahan ramah lingkungan yang menggunakan vegetasi seperti rumput vetiver untuk perbaikan tanah.

Kata kunci: Konservasi Lahan, Iklim, Pandemi

PENDAHULUAN

Konversi lahan merupakan konsekuensi logis dari peningkatan jumlah penduduk dan kegiatan pembangunan lainnya. Degradasi lahan Erosi tanah di daerah hulu DAS berdampak pada daerah sekitar lokasi dan dampak di luar lokasi (Suyana *et al.*, 2010). Erosi tanah merupakan kejadian alam yang pasti terjadi di permukaan tanah bumi. Perubahan tutupan lahan menjadi salah satu faktor pemicu terjadinya endapan sedimen di daerah tersebut. Menurunnya lahan hutan sebagai daerah tangkapan air dapat menimbulkan berbagai kondisi yang mempengaruhi besarnya erosi permukaan, sehingga pada saat hujan terjadi peningkatan dan percepatan aliran permukaan. Oleh karena itu, beban sedimen menjadi tinggi sehingga penggenangan di sungai begitu cepat, didukung oleh berbagai rentang kemiringan (mulai dari 0 hingga 2% hingga di atas 40%).

Tanah longsor dan erosi merupakan ancaman lingkungan yang serius. Laporan World's Soil Resources (SWSR) menunjukkan bahwa sekitar 33% dari tanah global terkikis dan terdegradasi dengan tingkatan moderate (FAO, 2017). Beberapa metode rekayasa, seperti teknik mekanik dengan menggunakan geosynthetic cementitious composite mats (GCCM) (Ngo *et al.*,

2019; Likitlersuang *et al.*, 2020), ataupun dengan bahan kimia seperti semen dan fly ash (Por *et al.*, 2017; Leelarungroj *et al.*, 2018; Yoobanpot *et al.*, 2020) telah banyak digunakan untuk stabilisasi lereng dan perlindungan erosi tanah. Perbaikan tanah yang efisien menggunakan teknik struktural telah berhasil di negara maju, sedangkan di negara berkembang, termasuk di Indonesia teknik yang sama belum begitu produktif. Hal tersebut dikarenakan metode structural yang mahal, tidak cocok untuk lereng alami, dan cenderung tidak ramah lingkungan.

PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN

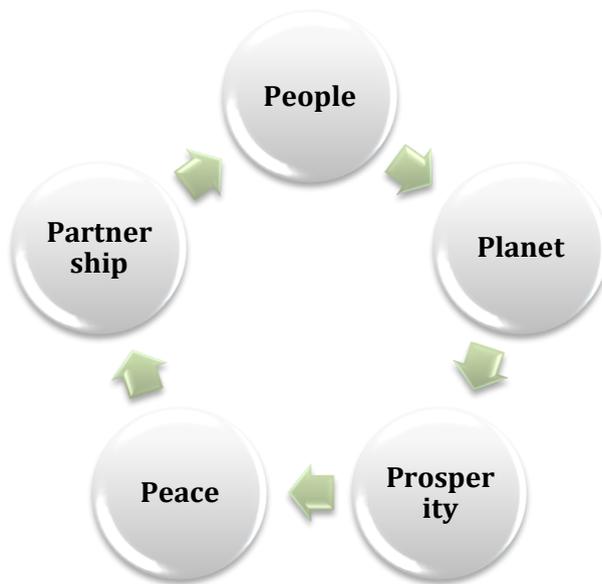
Bumi sedang menghadapi berbagai macam tantangan dan tekanan dalam menghadapi kelangsungan kehidupan manusia, tumbuhan dan keberadaan satwa. Maka dari itu diperlukan tindakan global guna memajukan ekonomi dan sosial untuk memastikan kesejahteraan manusia dan memperkuat perlindungan lingkungan guna menyelamatkan bumi. Pandemi Covid-19 mendorong setiap orang untuk memikirkan kembali hubungan mereka dengan lingkungan, dan untuk mempertimbangkan konsekuensi logis atas aktivitas yang dilakukannya terhadap kesejahteraan manusia dan kelangsungan hidup ke depannya.

Menanggapi isu dan tantangan dalam mencapai pembangunan berkelanjutan dalam tiga dimensi (ekonomi, sosial, lingkungan), komunitas global berkumpul dan menyepakati adanya 17 Sustainable Development Goals (SDGs) pada konferensi PBB tentang pembangunan berkelanjutan di Rio de Janeiro tahun 2012, dengan tujuan memenuhi tantangan lingkungan, politik, dan ekonomi yang mendesak dalam rangka menghadapi tantangan perubahan yang semakin cepat. Salah satu hasil yang terpenting dalam konferensi PBB Rio +20 mengenai pembangunan berkelanjutan adalah mengenai keputusan pemerintah untuk mengembangkan dan mengadopsi komponen SDGs dalam kerangka kerja dan kebijakan sebagai komitmen untuk mencapai tindakan yang berfokus dan sejalan dengan pembangunan berkelanjutan.

SDGs merupakan bluperint dalam mencapai masa depan yang lebih baik dan berkelanjutan untuk semua. Termasuk didalamnya adalah untuk mengatasi tantangan global termasuk kemiskinan, ketimpangan, perubahan iklim, degradasi lingkungan, dan perdamaian. SDGs merupakan sebuah kesepakatan umum yang secara berkelanjutan menjaga perlindungan manusia, lingkungan, dan kesejahteraan melalui perdamaian dan kemitraan pada tahun 2030. SDGs telah dikembangkan melalui proses konsultatif yang melibatkan seluruh pemerintahan dan jutaan warga dunia untuk bersama-sama bernegosiasi dan mengadopsi tujuan pembangunan berkelanjutan.

17 SDGs dan 169 target adalah bagian dari transforming our world: agenda 2030 untuk Sustainable Development, diadopsi oleh 193 Negara Anggota pada KTT Majelis Umum PBB pada September 2015, dan mulai berlaku pada 1 Januari 2016. SDGs bertujuan untuk mempromosikan kesejahteraan pada akhir tahun 2030 untuk semua orang termasuk lingkungan dan ekonomi. Komponen dalam SDGs pada dasarnya terintegrasi, mereka menyeimbangkan tiga dimensi pembangunan berkelanjutan yaitu ekonomi, sosial, dan lingkungan. Tujuan tersebut mengakui bahwa memberantas kemiskinan harus sejalan dengan strategi untuk meningkatkan kesehatan dan pendidikan, mengurangi ketimpangan dan mendorong pertumbuhan ekonomi, serta sejalan dengan mengatasi perubahan iklim dan bekerja untuk kelestarian ekosistem lingkungan

Pembangunan berkelanjutan didasarkan pada lima dimensi diantaranya manusia, planet, kesejahteraan, perdamaian, dan kemitraan yang memberikan panduan baru untuk setiap intervensi dalam mencapai pembangunan yang tepat, diiringi solusi untuk mengatasi tantangan sosial di seluruh dunia. Intervensi untuk mencapai pembangunan berkelanjutan, perlu diejawantahkan dalam pengambilan keputusan yang mempertimbangkan sejauh mana SDGs akan dikembangkan dan dijalankan. Kelimanya akan dijelaskan secara rinci dalam uraian berikut:



Gambar 2.1. Lima Dimensi Pembangunan Berkelanjutan
Sumber: www.unic.org.in.

People: mengakhiri kemiskinan dan kelaparan. Memastikan bahwa semua manusia dapat terpenuhi segala potensinya secara bermartabat dan setara serta hidup dalam lingkungan yang sehat

Planet: melindungi bumi dari degradasi lingkungan, mempromosikan konsumsi dan produksi berkelanjutan, pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan, sembari mengambil keputusan yang cepat, terukur dan terarah terhadap perubahan iklim

Prosperity: menjamin bahwa setiap manusia dapat menikmati kehidupan yang sejahtera serta mengusahakan bahwa pertumbuhan ekonomi, sosial dan teknologi sejalan dengan perlindungan alam dan lingkungan

Peace: menumbuhkan masyarakat yang damai, adil dan inklusif yang bebas dari ketakutan dan kekerasan. Tidak akan ada pembangunan berkelanjutan tanpa diiringi dengan perdamaian dan tidak ada perdamaian tanpa pembangunan berkelanjutan

Partnership: memobilisasi sarana untuk mengimplementasikan agenda kemitraan global dalam pembangunan berkelanjutan yang

direvitalisasi, berdasarkan semangat solidaritas global. Hal ini dapat diperkuat dengan berfokus pada kebutuhan yang paling miskin dan rentan dan dengan partisipasi semua pemangku kepentingan

KONSERVASI LAHAN DAN PERUBAHAN IKLIM

Dorongan melakukan konservasi lahan di tengah perubahan iklim penting untuk segera dilakukan. Dalam rangka membantu memerangi perubahan iklim, para petani harus mempunyai komitmen pada pertanian berkelanjutan dan ilmuwan memperjuangkan konservasi tanah guna mempromosikan tanah yang sehat, subur, produktif, dan tangguh. Dalam kondisi ini konservasi tanah sangat penting untuk mengurangi dampak destruktif perubahan iklim di seluruh dunia, mempertahankan siklus iklim yang seimbang, menyediakan ekosistem yang sehat di mana tanaman, pohon, dan hewan dapat berkembang, serta memastikan hasil pertanian yang sehat melalui praktik pertanian berkelanjutan

Konservasi tanah berfokus pada menjaga tanah tetap sehat melalui kombinasi praktik dan teknik. Tanah menyediakan nutrisi penting untuk pertumbuhan tanaman, kehidupan hewan, dan jutaan mikroorganisme. Namun, jika tanah menjadi tidak sehat, tidak stabil, atau tercemar, siklus hidupnya akan terhenti. Ancaman utama konservasi tanah menurut PBB adalah perubahan iklim dan praktik pertanian tradisional. Perubahan iklim global dan pertumbuhan populasi memberikan tantangan yang lebih besar bagi produksi pangan (Duro *et al.*, 2020). Diperkirakan produksi pangan secara global perlu ditingkatkan sebesar 100-110% pada tahun 2050, kondisi ini menjadi lebih tinggi sekitar 70% dari prediksi yang telah dibuat ditahun yang sama (Tilman *et al.*, 2011). Akibatnya, dari sisi Supply produksi membutuhkan tambahan kebutuhan pestisida dan pupuk yang telah digunakan dalam pertanian untuk menstimulus dan meningkatkan hasil panen (Gao *et al.*, 2019; McClung, 2014; Mueller *et al.*, 2012). Berdasarkan statistik FAO (2020) penggunaan pestisida kimia di Indonesia mencapai 1.597 ton per tahun. Efisiensi pemanfaatan pestisida dan

pupuk kimia yang rendah telah menyebabkan kerusakan ekologis dan pemborosan sumber daya (Reay *et al.*, 2012). Oleh karena itu, urgensi untuk mengembangkan strategi ramah lingkungan melalui konservasi tanah sangat dibutuhkan.

Praktek pertanian tradisional termasuk penggunaan pestisida berbahaya secara berlebihan yang mencemari tanah, metode tebang-dan-bakar, dan penggunaan lahan yang berlebihan merupakan tiga rangkaian yang banyak menyebabkan kerusakan pada lahan. Konservasi tanah kemudian dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi:

a) Kontaminasi Kimia

Penggunaan pestisida dapat mencemari tanah serta vegetasi dan sumber air terdekat dengan bahan kimia berbahaya. Selain kontaminasi, bahan kimia yang digunakan pada tanaman dapat menjadi racun bagi serangga penting yang bermanfaat.

b) Tebas dan Bakar

Pertanian tebas bakar adalah praktik membakar dan membuka hutan untuk membuka lahan pertanian. Metode ini membunuh spesies tumbuhan dan menggusur satwa liar dari habitat aslinya. Pembukaan lahan dengan tebas bakar hanya digunakan pada saat produktif untuk bercocok tanam. Setelah kehilangan kesuburannya, petak hutan lain diidentifikasi untuk dibuka. Proses yang tidak berkelanjutan ini berulang tanpa henti, menghambat tanah pulih secara memadai untuk mendukung ekosistem yang sehat.

c) Penggunaan Lahan Eksploitatif

Penggunaan lahan yang berlebihan dapat membatasi kemampuan tanah untuk memainkan perannya dalam siklus iklim global. Misalnya, penebangan hutan dan lahan yang berlebihan membuat tanah menjadi lebih rentan terhadap erosi.

FUNGSI TANAH DALAM PERUBAHAN IKLIM

Pemahaman tentang peran tanah dapat menciptakan peluang untuk mengembangkan solusi baru dan mempromosikan pengelolaan lingkungan. Mengapa konservasi tanah penting untuk keberlanjutan? Sederhananya, tanpa konservasi tanah, erosi tanah

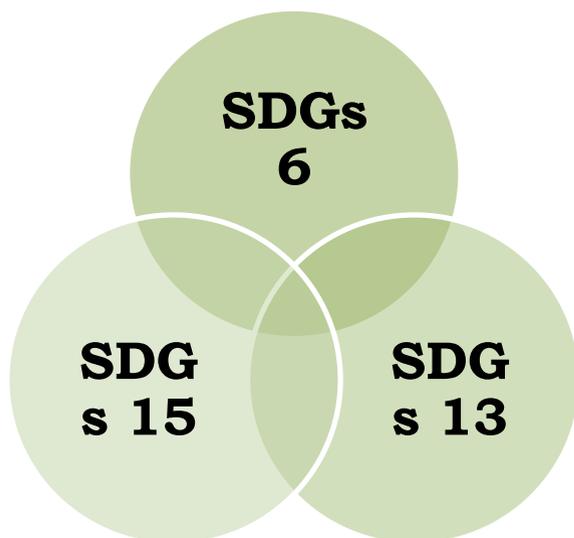
akan meningkat. Erosi tanah berdampak pada pasar di seluruh dunia, termasuk kerugian \$8 miliar karena hasil panen yang lebih rendah dan peningkatan penggunaan air.

Tanah sangat penting untuk produksi pangan. Tanaman membutuhkan tanah untuk tumbuh, dan hewan ternak membutuhkan vegetasi untuk pakan. Melestarikan tanah dapat membantu mengatasi kerawanan pangan dan mempromosikan masyarakat yang lebih sehat. Tanah juga membantu menciptakan iklim yang lebih bersih, menyerap sekitar sepertiga karbon dioksida yang dikeluarkan oleh bahan bakar fosil dan operasi industri. Pada akhirnya penatagunaan tanah yang sehat dapat membantu mengurangi dampak perubahan iklim.

KONSERVASI TANAH: KOMPONEN KUNCI UNTUK MENGURANGI DAMPAK PERUBAHAN IKLIM

Praktek pertanian yang tidak berkelanjutan dapat mempengaruhi kesehatan tanah, yang pada gilirannya mempengaruhi siklus iklim global. Tanah yang dikelola dengan buruk dapat melepaskan karbon dioksida secara berlebihan yang pada akhirnya berkontribusi terhadap perubahan iklim. Memulihkan tanah yang terdegradasi menggunakan praktik konservasi tanah dalam pertanian dapat secara efektif menyerap karbon, membantu membangun ketahanan terhadap dampak perubahan iklim.

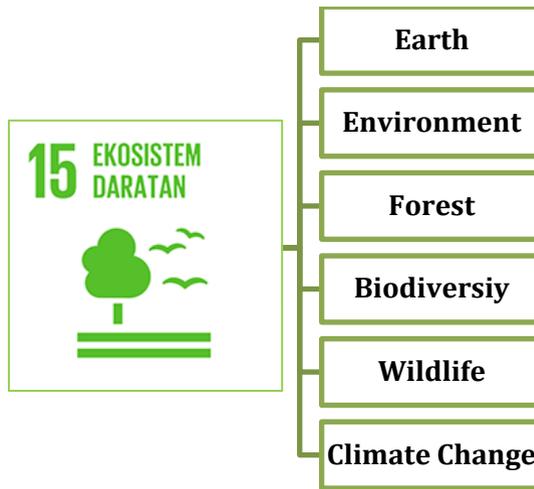
Konservasi tanah juga mendorong pembangunan ekonomi dan berkelanjutan untuk memenuhi Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) PBB: 17 tujuan yang berfokus pada penyediaan “sustainable future for all.” Menurut European Environment Agency, tujuh SDG berkorelasi langsung dengan praktik konservasi tanah, termasuk yang berikut:



Gambar 2.2. Keterikatan SDGs 6,13,15

SDGs 6 — Air Bersih dan Sanitasi Layak: Ketersediaan air bersih yang terjamin, pengelolaan air bersih dan sanitasi berkelanjutan untuk semua. Berdasarkan laporan Bank Dunia pada 2014 diperkirakan sebanyak 780 juta penduduk bumi tidak memiliki akses terhadap air bersih dan 2 miliar orang tidak memiliki akses sanitasi. Kondisi ini berdampak pada ribuan nyawa yang melayang tiap hari dan kerugian material mencapai 7% dari PDB dunia. Beberapa hal yang dapat dilakukan diantaranya adalah peningkatan drainase dan pemurnian, selain itu, tanah juga dapat membantu menyediakan air bersih untuk minum dan pertanian.

SDGs 13 — Penanganan Perubahan Iklim: Mengambil Tindakan Cepat untuk Mengatasi Perubahan Iklim dan Dampaknya. Melalui penyerapan, tanah dapat memainkan peran penting dalam memerangi perubahan iklim dengan mengurangi atmospheric carbon.



Gambar 2.3. Pondasi SDGs 15 – Ekosistem Daratan

SDGs 15 — Ekosistem Daratan: dalam tujuan ini ditekankan pada perlindungan, restorasi dan peningkatan pemanfaatan berkelanjutan ekosistem daratan, pengelolaan hutan dengan cara lestari, pemulihan degradasi lahan, penghentian penggurunan, serta penghentian kehilangan keanekaragaman hayati. Kehidupan manusia untuk mencari bahan makanan dan mata pencaharian bergantung pada tanah, sama halnya dengan ketergantungan manusia dengan laut. Dimana 80 persen bahan makanan disediakan oleh tumbuhan untuk manusia, dan manusia memiliki ketergantungan pada pertanian sebagai sumber penting perekonomian dan alat pembangunan. Hutan meliputi 30 persen permukaan bumi, dan merupakan habitat bagi jutaan spesies serta menjadi sumber air dan udara bersih, dan juga sangat penting untuk melawan perubahan iklim.

Tanah yang sehat sangat penting untuk pengelolaan hutan yang berkelanjutan dan membalikkan degradasi lahan. Membangun ketahanan ekosistem penting dilakukan untuk mengatasi tantangan perubahan iklim. Salah satu faktor kunci berada tepat di bawah kaki kita adalah tanah. Melalui konservasi tanah, setiap raong bekerja untuk meminimalkan dampak perubahan iklim dan mendukung kebutuhan jangka panjang masyarakat.

PAKTIK KONSERVASI LAHAN

Maryville University dalam artikelnya berjudul *Soil Conservation Guide: Importance and Practices* menjelaskan mengenai berbagai macam konservasi tanah diantaranya:

1) Pertanian Tanpa Pengolahan

Tilling turns over sekitar 10 inci dari tanah lapisan atas dan memungkinkan petani menanam lebih banyak benih dengan sedikit usaha. Kelemahan dari pengolahan tanah adalah menghilangkan penutup tanaman, berpotensi meninggalkan tanah kosong, mengurangi jumlah bahan organik yang kaya nutrisi, dan mengurangi kemampuannya untuk menyerap air dan mempertahankan nutrisi. Pengolahan tanah juga dapat membuat tanah lebih rentan terhadap erosi. Dalam pertanian tanpa pengolahan, benih ditanam di ruang sempit, menghilangkan kebutuhan untuk membajak.

Pertanian tanpa pengolahan melindungi tanah dari hilangnya kelembaban karena suhu tinggi karena sisa tanaman penutup tetap berada di permukaan tanah. Lapisan residu juga membantu penyerapan air ke dalam tanah dan meningkatkan bahan organik dan mikroorganisme guna memperkaya tanah.

Pertanian tanpa pengolahan (No-till farming) digunakan sejauh 10.000 tahun yang lalu. Tetapi ketika desain bajak dan metode produksi meningkat selama Revolusi Pertanian Eropa pada abad ke-18 dan awal abad ke-19, pengolahan tanah menjadi semakin populer. Petani mengadopsi metode ini karena memungkinkan mereka menanam lebih banyak benih sambil mengeluarkan sedikit usaha (regenerationinternational.org)

2) Pertanian Terasering



Gambar 2.4. Persawahan Terasering

Sumber: <https://eos.com/>

Pertanian terasering adalah praktik pertanian yang menggunakan terasering, atau seperti tangga, dibangun di lereng daerah perbukitan atau pegunungan untuk menciptakan sistem resapan air bagi tanaman dan umumnya digunakan dalam menanam padi. Air hujan membawa nutrisi dan vegetasi dari satu teras ke teras berikutnya, sehingga tanah tetap sehat. Pertanian teras juga mengurangi erosi tanah dan meningkatkan produktivitas tanah di petak-petak tanah yang tidak digunakan.

3) Pertanian Kontur



Gambar 2.5. Pertanian Kontur

Sumber: <https://www.britannica.com/topic/crop-rotation>

Seperti pertanian terasering, pertanian kontur melibatkan penanaman tanaman di perbukitan, tetapi alih-alih mengubah struktur bukit, petani menggunakan kemiringan alamnya. Dalam pertanian kontur, seorang petani membajak tanah sejajar dengan kontur bukit, menciptakan barisan bendungan kecil yang meminimalkan limpasan nutrisi penting, organisme, dan tanaman, sekaligus meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah. Departemen Pertanian AS (USDA) melaporkan bahwa pertanian kontur dapat mengurangi erosi tanah hingga 50%.

4) Rotasi tanaman

Alih-alih menanam tanaman yang sama di sebidang tanah yang sama, rotasi tanaman melibatkan perencanaan musim tanam untuk tanaman yang berbeda. Metode pertanian berkelanjutan ini membutuhkan perencanaan jangka panjang, dengan tanaman berubah setiap musim. Selain meningkatkan kesehatan tanah dan bahan organik, rotasi tanaman mengurangi kebutuhan pupuk dan pestisida, sehingga menurunkan biaya. Ini juga membantu mencegah bahan kimia berlebih untuk menjaga kualitas air.

5) Penahan angin (Windbreaks)



Gambar 2.6. Lahan Persawahan

Sumber: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FieldWindbreaks.JPG>

Penahan angin adalah barisan pohon dan semak yang ditanam di antara ladang tanaman, mengurangi kekuatan erosi angin di tanah. Penahan angin juga menyediakan rumah bagi makhluk hidup. Dari sudut pandang ekonomi, menggunakan pohon yang menghasilkan buah-buahan dan kacang-kacangan di penahan angin dapat mendiversifikasi pendapatan pertanian.

6) Restorasi lahan basah

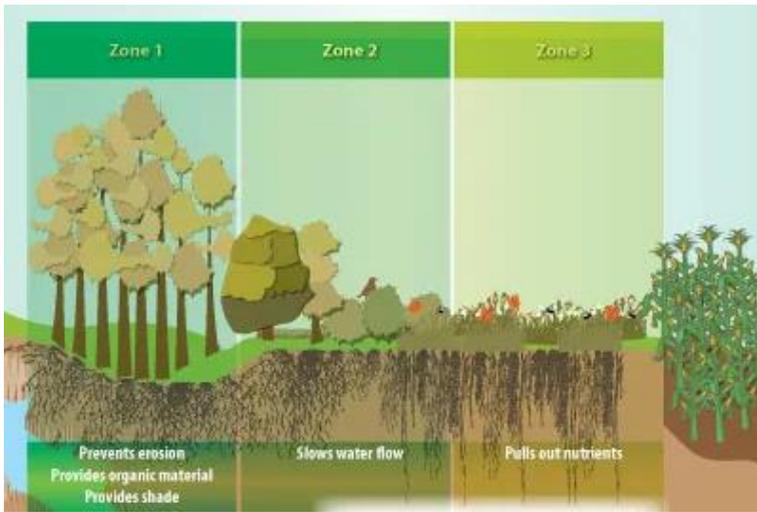
Restorasi dan perlindungan lahan basah difungsikan untuk menghilangkan ancaman atau mencegah penurunan kondisi lahan basah. Lahan basah menyediakan habitat bagi semua jenis makhluk hidup. Mereka juga bertindak sebagai penyangga, melindungi lahan pertanian dari banjir.

7) Buffer strips

Penahan angin, jalur penyangga adalah area lahan yang ditentukan untuk ditanami pohon dan semak. Alih-alih melindungi tanah dari angin, tujuan utama dari metode ini adalah untuk mencegah limpasan air dan mengurangi erosi.

Sejak 1960-an, buffer strips semakin populer. Sebagai digunakan untuk mengelola dan melindungi sumber daya air tawar, dengan pengelolaan dan pengoperasiannya yang relatif mudah. Hal ini kemudian mengkondisikan banyak negara menyediakan sumber daya untuk mendukung pemilik tanah membangun atau memulihkan penyangga. Salah satunya melalui *riparian buffer strips*

Bagaimana strip penyangga riparian dibangun atau dipelihara? Penyangga riparian biasanya terdiri dari tiga zona diantaranya zona pertama di tepi perairan. Zona 2 dan 3 bergerak lebih jauh ke pedalaman. Setiap zona memiliki lebar dan campuran tanaman yang berbeda-beda tergantung dari ukuran badan air, dan fungsi penyangga yang diinginkan. Setiap riparian buffer strips melindungi ekosistem air tawar dengan cara yang berbeda



Gambar 2.7. Pembagian Zona
Sumber: American Society of Agronomy

-Zona 1- biasanya ditanami pohon besar dan semak belukar. Akar pohon dan semak meningkatkan stabilitas pinggiran atau tepian. Bahkan dedaunan pohon dapat memperlambat aliran hujan deras ke tanah. Ini membantu mencegah erosi tanah. Tidak hanya penting untuk menjaga tanah tetap di tempatnya, penting juga untuk menjauhkan tanah dari aliran sungai. Kanopi daun memberikan keteduhan untuk sebagian besar daerah riparian. Keteduhan di zona ini dapat menjaga suhu air lebih dingin untuk ikan. Daun dan cabang yang jatuh menyediakan bahan organik untuk sungai.

-Zona 2- biasanya merupakan hutan yang dikelola atau lahan semak hutan campuran. Zona 2 biasanya ditanami semak asli dan pohon kecil seperti kesemek. Akar pohon di zona ini dapat memperlambat aliran air dari penggunaan lahan. Ini meningkatkan aliran air kembali ke sumber air tanah, bukan ke sungai. Pohon-pohon juga menggunakan banyak nutrisi yang mengalir dari lahan pertanian. Ini mengurangi jumlah nutrisi yang sampai ke sungai.

-Zona 3- terjauh dari sumber air, tepat di sebelah penggunaan lahan (selain lahan pertanian, bisa juga daerah

perkotaan, tempat parkir, atau bahkan lokasi industri.) Zona 3 ditanami padang rumput atau campuran padang rumput dan bunga liar. Jika berada di area perumahan atau perkotaan, area ini bahkan bisa menjadi taman. Zona 3 juga berkontribusi untuk memperlambat limpasan nutrisi dan menjebak sedimen. Zona ini dapat menarik banyak spesies burung, serta penyerbuk seperti lebah, kupu-kupu, dan ngengat ke dalam lanskap.

8) Pembentukan kembali tutupan hutan

Di daerah dimana tanah telah terdegradasi, pembentukan kembali tutupan hutan dapat memperbaiki tanah dan memulihkan kesehatan ekosistem. Metode ini memberikan keteduhan bagi tanaman dan sangat berguna untuk pertanian hutan, yang membudidayakan tanaman bernilai tinggi, seperti yang digunakan untuk tujuan pengobatan.

9) Cacing tanah

Cacing tanah adalah salah satu organisme yang paling produktif di tanah. Mereka mencerna materi tanaman, melepaskan nutrisi penting ke dalam tanah, dan jaringan terowongan mereka menciptakan saluran udara yang membantu air bergerak melalui tanah.

10) Bioteknologi Tanah

Bioteknologi tanah adalah alternatif ramah lingkungan yang menggunakan vegetasi untuk perbaikan tanah. Vegetasi memberikan dua efek penting pada sifat-sifat tanah. Pertama, vegetasi memiliki kemampuan untuk menghilangkan kelebihan air dalam tanah melalui evapotranspirasi, di mana kelembaban tanah diekstraksi oleh akar tanaman, menghasilkan peningkatan daya hisap tanah yang diinginkan yang pada gilirannya juga meningkatkan tegangan efektif dan kekuatan geser tanah. Kehadiran akar di dalam tanah juga dapat mempengaruhi permeabilitas tanah dan perilaku retensi air tanah. Kedua, akar vegetasi meningkatkan berbagai sifat mekanis tanah ketika serat akar secara mekanis memperkuat tanah untuk meningkatkan kekuatan tarik dan gesernya. Menggunakan strip tanaman lokal untuk

mengontrol kehilangan tanah dan air telah diterapkan secara luas dan diakui sebagai metode bioteknologi tanah (Chaowen *et al.*, 2007). Di antara tanaman yang digunakan untuk tanah lereng rekayasa hayati, rumput vetiver dianggap sebagai salah satu tanaman yang paling cocok terutama di zona tropis (Tam *et al.*, 1996).

BIOTEKNOLOGI TANAH: RUMPUT VETIVER

Morfologi rumput vetiver terdiri dari bunga, daun, batang dan akar. Tumbuhan vertiver memiliki bunga berwarna coklat dan ungu, dengan daun membentuk rumput memanjang berukuran 1-3 meter dan diameter 2-8 mm. Batang rumput vetiver memiliki lignin dengan fungsi sebagai palisade kayu guna melindungi tumbuhan dari penyakit, kekeringan, dan herbisida. Morfologi ukuran akar tumbuhan ini berkisar < 1 cm dan panjang ke dalam tanah mencapai kisaran 3 meter.



Gambar 2.8. Rumput Vetiver

Vetiver system yang menggunakan rumput vetiver merupakan teknologi sederhana yang diperuntukkan untuk konservasi tanah dan air. Jenis vetiver yang biasa digunakan antara lain akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) dan usar (*Vetiver nigrimana*). Vetiver system memanfaatkan akar dalam tanaman vetiver untuk dapat menembus lapisan tanah yang cenderung keras sehingga dapat berfungsi untuk menahan aliran permukaan dan jatuhnya material

erosi. Selain itu, batang dan daun vetiver dapat memperlambat arus atau aliran endapan yang terbawa saat adanya aliran permukaan. Kondisi tersebut kemudian bisa menahan pergerakan tanah agar tidak terjadi kelongsoran tanah.

Pemanfaatan teknologi vetiver sebagai pengendali adanya erosi banyak berbagai negara seperti Malaysia, Thailand, India, Australia, Kingi termasuk didalamnya adalah negara Indonesia. Penggunaan vetiver sendiri telah didukung oleh Bank Dunia untuk membantu melestarikan erosi tanah dan limpasan air (D'Souza *et al.*, 2019; Truong, 2000). Popularitas dan kesesuaian rumput vetiver sebagai tanaman rekayasa ekologi adalah karena sistem akar berseratnya yang luas, yang dapat mencapai kedalaman hingga 3,0 m. Rumput vetiver memiliki berbagai aplikasi dalam rekayasa ekologi dan restorasi lingkungan, seperti stabilisasi lereng (Eab *et al.*, 2015), pengendalian erosi (Cao *et al.*, 2015), dan fitoremediasi (Wasino *et al.*, 2019). Pemanfaatan rumput vetiver yang dikombinasikan dengan penggunaan limbah serbuk kayu sebagai mulsa telah diakui sebagai solusi yang sangat sukses untuk masalah ketidakstabilan tanah dan erosi. Jika diterapkan dengan benar, rumput vetiver dengan mulsa limbah gergaji dapat membantu mengurangi erosi tanah hingga 90%, mengurangi dan melestarikan limpasan hujan hingga 70%, dan mengurangi risiko banjir (Truong *et al.*, 2008). Disisi lain mulsa kayu dapat membatasi erosi lebih lama dibandingkan jerami gandum. Robichaud dkk. (2013c) menemukan bahwa mulsa kayu menurunkan hasil sedimen, menekan gulma dan melestarikan kelembaban tanah.

Rumput vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) telah didukung oleh Bank Dunia untuk membantu melestarikan erosi tanah dan limpasan air atau infiltrasi sejak tahun 1980-an (D'Souza *et al.*, 2019; Truong, 2000). Popularitas dan kesesuaian rumput vetiver sebagai tanaman rekayasa ekologi adalah karena sistem akar berseratnya yang luas, yang dapat mencapai kedalaman hingga 3,0 m. Rumput vetiver memiliki berbagai aplikasi dalam rekayasa ekologi dan restorasi lingkungan, seperti stabilisasi lereng (Eab *et al.*, 2015), pengendalian erosi (Cao *et al.*, 2015), dan fitoremediasi (Wasino *et al.*, 2019). Di Thailand, kemampuan akar akar wangi

untuk meningkatkan stabilitas lereng telah diselidiki secara intensif (Eab *et al.*, 2014, 2015; Likitlersuang *et al.*, 2017; Nguyen *et al.*, 2018, 2019).

Sejak tahun 1987, pemanfaatan rumput vetiver telah diakui sebagai solusi yang sangat sukses untuk masalah ketidakstabilan tanah dan erosi. Jika diterapkan dengan benar, rumput vetiver dapat membantu mengurangi erosi tanah hingga 90%, mengurangi dan melestarikan limpasan hujan hingga 70%, dan mengurangi risiko banjir (Truong *et al.*, 2008). Studi tentang efektivitas pagar tanaman vetiver untuk konservasi tanah dan air di dataran tinggi Thailand Utara mengungkapkan bahwa perawatan rumput vetiver mengurangi erosi tanah sebesar 54% dibandingkan dengan praktik perawatan umum yang dilakukan oleh petani lokal (Inthapan *et al.*, 2012). Ciri yang paling penting dari rumput vetiver adalah akarnya. Rumput Vetiver adalah tanaman tahunan yang tumbuh cepat dengan sistem akar yang luas, dalam, dan saling terkait (The Vetiver Network International, 2017). Ketika ditanam dalam satu atau beberapa baris pada kontur, itu membentuk penghalang pelindung di lereng (Truong dan Loch, 2004). Rumput vetiver dapat menjebak sedimen karena kepadatan pagar tanamannya yang tinggi. Selain itu, ia memiliki kemampuan untuk menunda aliran backwater dan menahan air untuk meresap ke dalam tanah (Rodriguez, 2001; Babalola *et al.*, 2007).

MANFAAT KONSERVASI TANAH

Solusi Konservasi Tanah Dalam Menghadapi Perubahan Iklim

1) Menerapkan Praktik Pertanian Ramah Tanah

Dari berbagai metode pengelolaan tanah, terasering merupakan yang sering digunakan di Indonesia. Metode terasering perlu diterapkan agar pertanian dengan morfologi lereng perbukitan dapat dikelola dan dimanfaatkan dengan lebih baik. Pertanian lereng bukit selain dikelola melalui terasering juga memerlukan tutupan tanaman guna membantu mempertahankan kondisi tanah atau biasa disebut dengan tumpang sari. Istilah tumpang sari sering diartikan penanaman dua jenis tanaman bersamaan di area yang sama, misalnya menanam tomat di antara barisan tanaman cabai.

Bagi petani kecil, sistem wanatani dengan berbagai tanaman dan pohon ditanam secara bersamaan juga dapat menjadi solusi ramah tanah yang efektif. Disisi lain, penggunaan pupuk kandang dapat membantu meningkatkan bahan organik dalam tanah, sehingga dapat mencegah terjadinya erosi. Dalam konteks ini rotasi tanaman berakar dalam dan berakar dangkal dapat mengurangi erosi dan memperbaiki struktur tanah

2) Insentif Pengelolaan Tanah

Salah satu kendala dalam pengelolaan tanah ada keterbatasan sumber daya ekonomi. Meskipun pengelolaan tanah berkelanjutan terus mengalami perkembangan, tetapi dalam praktek pengelolaannya membutuhkan finansial yang tidak sedikit bagi petani. Perlu dukungan dari berbagai stakeholder terutama dari sisi finansial untuk mendukung praktik baik pencegahan erosi. Pada akhirnya, biaya pencegahan erosi akan jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan biaya rehabilitasi dan pemulihan lahan.

3) Bioteknologi Tanah

Alternatif ramah lingkungan yang menggunakan vegetasi untuk perbaikan tanah. Vegetasi memberikan dua efek penting pada sifat-sifat tanah. Pertama, vegetasi memiliki kemampuan untuk menghilangkan kelebihan air dalam tanah melalui evapotranspirasi. Kedua, akar vegetasi meningkatkan berbagai sifat mekanis tanah ketika serat akar secara mekanis memperkuat tanah untuk meningkatkan kekuatan tarik dan gesernya. Melalui bioteknologi tanah, kita dapat melakukan konservasi lahan dengan biaya lebih murah dan proses yang lebih alami.

SIMPULAN

Dalam rangka menjaga stabilisasi lereng dan perlindungan erosi diperlukan konservasi tanah yang berfokus untuk menjaga stabilisasi lereng dan perlindungan erosi tanah melalui kombinasi praktik dan teknik. Perbaikan tanah yang efisien menggunakan teknik struktural telah berhasil di negara maju, sedangkan di negara berkembang, termasuk di Indonesia teknik yang sama belum begitu produktif. Hal tersebut dikarenakan metode structural yang mahal, tidak cocok untuk lereng alami, dan

cenderung tidak ramah lingkungan. Salah satu alternatif yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah melalui teknik bioteknologi tanah. Teknik ini merupakan alternatif pengelolaa lahan ramah lingkungan yang menggunakan vegetasi seperti rumput vetiver untuk perbaikan tanah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan (Kemendikbud) melalui Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (Ditjen Dikti) yang telah memberikan pendanaan melalui skema Kedaireka, sehingga dapat tercipta penulisan book chapter mengenai konservasi lahan dalam perspektif perubahan iklim pasca pandemi Covid-19.

DAFTAR PUSTAKA

- Babalola, O., Oshunsanya, S.O., & Are, K., 2007. Effects of Vetiver grass (*Vetiveria nigriflora*) Strips, Vetiver Grass Mulch and an Organomineral Fertilizer on Soil, Water, and Nutrient Losses and Maize (*Zea mays, L*) Yields. *Soil Tillage Res.*, 96 (1), pp.6–18.
- Cao, L., Zhang, Y., Lu, H., Yuan, J., Zhu, Y., & Liang, Y., 2015. Grass Hedge Effects on Controlling Soil Loss from Concentrated Flow: A Case Study in the Red Soil Region of China. *Soil Tillage Res.*, 148, pp.97–105.
- Duro, J.A., Lauk, C., Kastner, T., Erb, K.H., & Haberl, H., 2020. Global Inequalities in Food Consumption, Cropland Demand and Land-use Efficiency: A Decomposition Analysis. *Global Environmental Change*, 64, pp.102124.
- Chaowen, L., Shihua, T., Jingjing, H., & Yibing, C., 2007. Effects of Plant Hedgerows on Soil Erosion and Soil Fertility on Sloping Farmland in the Purple Soil Area. *Acta Ecologica Sinica*, 27(6), pp.2191-2198.
- D'Souza, D.N., Choudhary, A.K., Basak, P., & Shukla, S.K., 2019. Assessment of Vetiver Grass Root Reinforcement in Strengthening the Soil. *Book Chapter*, 14, pp.135–142.

- Eab, K.H., Likitlersuang, S., & Takahashi, A., 2015. Laboratory and Modelling Investigation of Root-reinforced System for Slope Stabilisation. *Soils Found*, 55(5), pp.1270–1281.
- Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO), 2017. *Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management*. Rome, Italy.
- Gao, W., Long, L., Tian, X., Xu, F., Liu, J., Singh, P. K., Botella, J.R., & Song, C., 2017. Genome Editing in Cotton with the CRISPR/Cas9 System. *Front Plant Sci*, 8, pp.1364.
- Inthapan, P., Sittibush, C., Limtong, P., & Chan-in, N., 2012. *The Effectiveness of Vetiver Grass Hedgerows for Soil and Water Conservation on the Highland of Northern Thailand*.
- Leelarungroj, K., Likitlersuang, S., Chompoorat, T., & Janjaroen, D., 2018. Leaching Mechanisms of Heavy Metals from Fly Ash Stabilised Soils. *Waste Manag. Res.*, 36(7), pp.616–623.
- Likitlersuang, S., Kounyou, K., & Prasetyaningtiyas, G.A., 2020. Performance of Geosynthetic Cementitious Composite Mat and Vetiver on Soil Erosion Control. *J. Mt. Sci.*, 17(6), pp.1410–1422.
- McClung, C.R., 2014. Wheels within Wheels: New Transcriptional Feedback Loops in the Arabidopsis Circadian Clock. *F1000Prime Rep*, 6(2).
- Muller, N.A., Wijnen, C.L., Srinivasan, A., Ryngajllo, M., Ofner, I., Lin, T., Ranjan, A., West, D., Maloof, J.N., Sinha, N.R., Huang, S., Zamir, D., & Jimenez-Gomez, J., 2016. Domestication Selected for Deceleration of the Circadian Clock in Cultivated Tomato. *Nat Genet*, 48, pp.89–93.
- Ngo, T.P., Likitlersuang, S., & Takahashi, A., 2019. Performance of a Geosynthetic Cementitious Composite Mat for Stabilising Sandy Slopes. *Geosynth. Int.*, 26(3), pp.309–319.
- Por, S., Nishimura, S., & Likitlersuang, S., 2017. Deformation Characteristics and Stress Responses of Cement-Treated Expansive Clay Under Confined One-Dimensional Swelling. *Appl. Clay Sci.*, 146, pp.316–324.
- Reay, D.S., Davidson, E.A., Smith, K.A., Smith, P., Melillo, J.M., Dentener, F., & Crutzen, P.J., 2012. Global Agriculture and

- Nitrous Oxide Emissions. *Nature Climate Change*, 2(6), pp.410-416.
- Rodriguez, O.S., 2001. Research and Practical Experiences with Vegetative Barriers for Water Erosion Control in Venezuela. In: Scott, D.E., Mohtar, R.H., Steinhardt, G.C. (Eds.), *Sustaining the Global Farm*, pp. 403–411.
- Suyana, J., 2014. Perencanaan Usaha Tani Lahan Kering Berkelanjutan Berbasis Tembakaudi Sub-DAS Progo Hulu (Kabupaten Temanggung, Provinsi Jawa Tengah). *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri*, 6(1).
- The Vetiver Network International., 2017. *Vetiver – The Plant*.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B.L., 2011. Global Food Demand and the Sustainable Intensification of Agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50), pp.20260-20264.
- Truong, P., Loch, R., 2004. Vetiver System for Erosion and Sediment Control. *ISCO 2004 — 13th International Soil Conservation Organisation Conference, Conserving Soil and Water for Society: Sharing Solutions*.
- Truong, P., 2000. *Vetiver Grass System: Potential Applications for Soil and Water Conservation in Northern California*.
- Truong, P., Van, T.T., & Pinnars, E., 2008. Part 5: Vetiver System for on Farm Erosion Control and Other Uses Vetiver System Applications. *The Vetiver Network International*, pp.61-86.
- Wasino, R., Likitlersuang, S., & Janjaroen, D., 2019. The Performance of Vetivers (*Chrysopogon zizanioides* and *Chrysopogon nemoralis*) on Heavy Metals Phytoremediation: Laboratory Investigation. *Int. J. Phytoremediation*, 21, pp.624–633.
- Yoobanpot, N., Jamsawang, P., Simarat, P., Jongpradist, P., & Likitlersuang, S., 2020. Sustainable Reuse of Dredged Sediments as Pavement Materials by Cement and Fly Ash Stabilization. *J. Soils Sediments*, 2020.

BAB III. PENGEMBANGAN MODEL KETERKAITAN *GREENWASHING* DENGAN *SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS (SDGs)*: ANALISIS BIBLIOMETRIK

**Agus Wahyudin¹; Maylia Pramono Sari²;
Ida Maftukhah³; Surya Raharja⁴**

^{1,2,3} Program Studi Akuntansi FE, Universitas Negeri Semarang

⁴ Program Studi Akuntansi FEB, Universitas Diponegoro

aguswahyudin@mail.unnes.ac.id

mayliapramonosari@mail.unnes.ac.id

idamaftukhah@mail.unnes.ac.id

suryaraharja@lecturer.undip.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.15294/ka.v1i2.145>

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi fenomena greenwashing melalui tinjauan pustaka yang sistematis di pencarian konsep dan tipologi utamanya dalam 20 tahun terakhir. Penelitian ini telah mengikuti proses tinjauan sistematis literatur untuk menyajikan analisis bibliometric terkait hubungan antara tentang Greenwashing dan Sustainable Development Goals (SDGs). Data yang digunakan pada penelitian ini berjumlah 29 artikel berupa 17 jurnal, 2 buku, 6 book chapter, 4 conference paper, 1 catatan dan 1 hasil review yang dipublikasikan dari tahun 2000 hingga tahun 2021. Penelitian ini menggunakan R biblioshiny untuk analisis dan visualisasi data. Selanjutnya dilakukan pula analisis tambahan dengan menggunakan Vos Viewer. Terdapat 75 penulis, dengan jumlah penulis yang tidak berkolaborasi sebanyak 13 penulis pada 13 artikel. Jurnal Sustainability paling banyak menuat Penulis Indonesia belum ada yang terdaftar, sehingga penelitian ini diharapkan dapat memberikan referensi terutama bagi penulis Indonesia yang akan melakukan publikasi internasional dengan tema serupa. Temuan penelitian ini menjadi

acuan dan memberi arah bagi para peneliti berikutnya serta memberikan mapping keberadaan greenwashing, pengukurannya, faktor-faktor yang menyebabkannya terkait dengan *Sustainable Development Goals* (SDGs).

Kata kunci: *Greenwashing, Sustainable Development Goals (SDGs), Bibliometric, Biblioshiny*

PENDAHULUAN

Sustainable Development Goals (SDGs) merupakan target dari Agenda 2030, yang merupakan perjanjian global untuk mencapai 17 SDGs tersebut selama 15 tahun ke depan pada tahun 2030. Instansi pendidikan tinggi menempati peran sentral dalam mendukung kemajuan pembangunan berkelanjutan (SD) dan mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs). Selain memainkan peran penting dalam memproduksi dan menyebarkan pengetahuan, Institusi Pendidikan Tinggi dapat mempromosikan dasar untuk belajar menuju kompleksitas perilaku dan keputusan yang dibutuhkan oleh pembangunan berkelanjutan. Universitas yang berkelanjutan secara konsisten bertindak dengan praktik keberlanjutan dalam pendidikan, penelitian, penyuluhan, manajemen kampus dan kebijakan dan pengalaman kelembagaan. Inisiatif diamati di berbagai domain, seperti dalam struktur kelembagaan dari pengembangan kebijakan keberlanjutan, penyisipan keberlanjutan dalam misi, visi universitas, penciptaan departemen spesifik dan penandatanganan deklarasi yang berkaitan dengan penyebabnya.

Sustainability menjadi isu yang relevan dengan berkembangnya bisnis dan teknologi. Saat ini *sustainability* telah menjadi bagian yang melekat dalam sebuah bisnis. Dengan semakin pentingnya konsep ini di dalam bisnis maka mendorong perusahaan untuk melaporkan *sustainability* nya secara khusus atau dikenal dengan *sustainability reporting*. *Sustainability reporting* (SR) menjadi salah satu indikator apakah suatu perusahaan menjalankan bisnis secara sistem sustainable atau tidak. Bahkan beberapa negara mewajibkan laporan ini. Menurut KPMG sampai

dengan tahun 2016, telah ada 71 negara yang mewajibkan SR (Aggarwal, 2014). Di Indonesia OJK telah mewajibkan laporan ini untuk industri keuangan, melalui Peraturan Otoritas Jasa Keuangan Nomor 51/POJK.03(Aggarwal, 2014)/2017 tentang Penerapan Keuangan Berkelanjutan bagi Lembaga Jasa Keuangan, Emiten, dan Perusahaan Publik. Dorongan dan kampanye penggunaan SR telah dimulai secara bertahap sejak tahun 2015. Bank diwajibkan membuat SR tahun 2019 dan jasa keuangan lainnya pada tahun 2020. Hal ini menunjukkan betapa tuntutan *sustainability* berujung kepada kewajiban pelaporan.

Di satu sisi kewajiban pelaporan akan mendorong perusahaan-perusahaan untuk berorientasi keberlanjutan. Di sisi lain, pelaporan justru menjadi alat legitimasi, bahwa dengan *reporting* seolah-olah perusahaan telah menjalankan *sustainable business* padahal faktanya tentu demikian. Dalam situasi yang terakhir, gejala ini sering disebut sebagai *greenwashing*. Hal ini merujuk pada praktek bahwa seolah-olah perusahaan mendapatkan status atau *image* yang baik karena membuat *reporting* padahal sebenarnya kinerjanya tidak seperti yang dilaporkan (Netto et.al 2020).

Sustainability reporting dianggap bisa mengubah orientasi dan aktivitas bisnis menjadi lebih berkelanjutan. Perusahaan yang sebelumnya tidak membuat laporan, ketika dia mulai membuat laporan maka orientasinya akan lebih fokus kepada keberlanjutan. Disamping itu, detail laporan yang menuntut disclosure dan kepatuhan terhadap standar, akan mendorong kepada aktivitas-aktivitas yang lebih *sustainable*. Dengan demikian, perusahaan menjadi lebih fokus pada target target untuk meningkatkan sistem sustainability nya. Hal ini sejalan dengan teori sinyal yang memandang bahwa perusahaan membuat laporan untuk menyampaikan atau memberikan sinyal kinerjanya (Netto et al., 2020). Di samping argumen tersebut di atas, beberapa mengkritik karena sustainability reporting juga memberi peluang perusahaan untuk meningkatkan citranya daripada melakukan aktivitas yang sebenarnya. Selain itu jika suatu perusahaan tidak membuat SR tidak berarti perusahaan itu mengabaikan keberlanjutannya. Hal

ini berarti SR bukan satu-satunya variabel dalam kinerja keberlanjutan. Fenomena yang menunjukkan bahwa perusahaan lebih mementingkan membangun *image* di dalam reporting daripada performance yang sebenarnya sering disebut dengan *greenwashing*. Beberapa riset menunjukkan bahwa fenomena ini merupakan praktik global (Andreoli *et al.*, 2017; Balluchi *et al.*, 2020; Berrone *et al.*, 2017; Bieńkowska, 2016; de Freitas Netto *et al.*, 2020; de Vries *et al.*, 2015; Delmas & Burbano, 2011; Faisal *et al.*, 2019; Jussila, 2019; Khan *et al.*, 2021; Kılıç *et al.*, 2019; Koch, 2016; Kopnina, 2020; Kurpierz & Smith, 2020; Lewis & Lewis, 2016; Malmberg, 2016; Marquis *et al.*, 2016; Martin-sardesai & Manes-rossi, 2020; Nadanyiova & Kliestikova, 2017; Politechniki *et al.*, 2016; Shabana *et al.*, 2017; Shabana & Ravlin, 2016; Tahir *et al.*, 2020; Watson, 2016; Wu *et al.*, 2020; Yang *et al.*, 2020)

Kritik pada *sustainability reporting* dilandasi pada asumsi teori legitimasi bahwasanya perusahaan membangun legitimasi termasuk menggunakan pencitraan melalui laporan (Mahoney *et al.*, 2013). Kritik-kritik ini sebetulnya tidak frontal menentang *sustainability reporting*, namun justru memberikan bukti-bukti yang bisa memperbaiki reporting tersebut. Sayangnya belum banyak riset-riset yang membuktikan keberadaan *greenwashing*. Di Indonesia pembuktian *greenwashing* ini belum banyak diteliti. Arah penelitian masih lebih fokus terhadap *sustainability reporting*, terutama menyangkut konten dan kualitas laporan. Keberadaan *disclosure* masih berupa indikasi yang belum diukur dan dibuktikan secara langsung untuk membuktikan keberadaan tipe *greenwashing* atau klasifikasi *greenwashing* tersebut. Setidaknya ada dua tipe *greenwashing*. Pertama adalah keberadaan laporan keuangan sebagai media legitimasi (Kılıç *et al.*, 2019) dan tipe kedua adalah *greenwashing* melalui *selective disclosure* (Marquis *et al.*, 2016).

Tipe pertama: laporan sebagai media legitimasi Tipe yang pertama adalah keberadaan laporan sebagai *greenwashing*. Pembuktiannya dengan cara membandingkan perusahaan yang membuat laporan dan yang tidak membuat serta melihat pengaruhnya kepada kinerja keberlanjutan. Tipe kedua: *Selective*

disclosure Tipe yang kedua adalah selektif *disclosure*. Untuk membuktikannya bisa dengan secara langsung melihat *disclosure* (Kılıç *et al.*, 2019) atau bisa juga *sustainability disclosure* dengan *performance* (Marquis *et al.*, 2016). Pengukuran *disclosure* untuk mengukur level pengungkapan di dalam *reporting*, dimana level pengungkapan ini sering dihubungkan dengan kualitas pelaporan. Pengukuran kinerja, mengukur capaian target dan indikator sustainable. Kedua pengukuran itu kemudian dibandingkan, jika level pengungkapan tinggi sedangkan performanya relatif rendah maka itu membuktikan adanya praktek *greenwashing*.

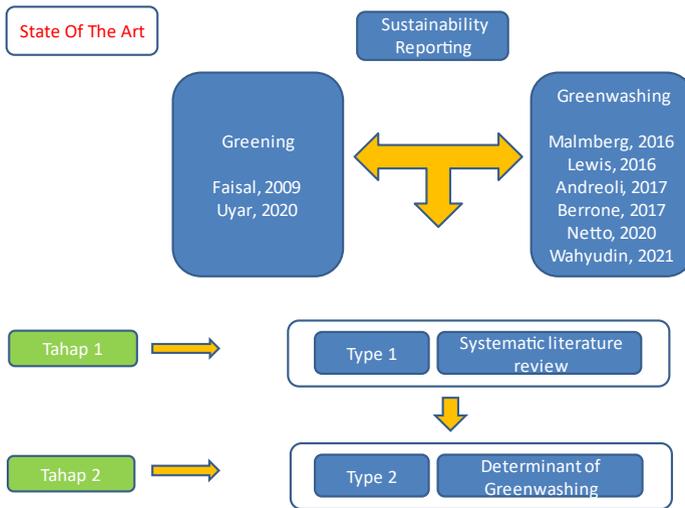
Di beberapa negara mewajibkan laporan keberlanjutan. Di Indonesia laporan ini diwajibkan untuk industri keuangan di bawah pengawasan OJK, sesuai Peraturan Otoritas Jasa Keuangan Nomor 51/POJK.03/2017 tentang Penerapan Keuangan Berkelanjutan bagi Lembaga Jasa Keuangan, Emiten, dan Perusahaan Publik. Emiten jasa perbankan diwajibkan mulai tahun 2019, sedangkan emiten jasa keuangan lainnya mulai tahun 2020. Data baru tersedia satu hingga dua tahun berlakunya kewajiban ini. Ada dua cara pembuktian *greenwashing*. Cara yang pertama adalah laporan sebagai *greenwashing*. Dengan kata lain keberadaan laporan menjadi alat legitimasi yang membedakan dengan perusahaan yang tidak membuat laporan. Indikasinya adalah meskipun membuat laporan namun kualitas pengungkapannya rendah. Cara yang kedua adalah menggunakan *selective disclosure*. Artinya, informasi dan pengungkapan yang ada di laporan dipilih yang memberikan citra positif bagi perusahaan. Analisis bibliometrik ini sebuah penelitian bertujuan untuk mengkaji produksi ilmiah pada subjek untuk memandu arah dan strategi penelitian masa depan. Beberapa penelitian Bibliometrik terkait *sustainability* (Adomssent *et al.*, 2007; Avelar *et al.*, 2019; Barth & Rieckmann, 2016; Bedin & Faria, 2021; Côrtes & Rodrigues, 2016; Diem & Wolter, 2013; Grosseck *et al.*, 2019; Hallinger & Chatpinyakoo, 2019; Hallinger & Nguyen, 2020; X. Liu, 2013; Z. Liu *et al.*, 2019; Marrone *et al.*, 2018; Owens, 2017; Pizzi *et al.*, 2020; Prieto-Jiménez *et al.*, 2021; Rohrich & Takahashi, 2019; Vatananan-

Thesenvitz *et al.*, 2019; Viegas *et al.*, 2016; Wright & Pullen, 2007; Zhang & Wang, 2021)

Tujuan penelitian ini adalah untuk menyelidiki profil penelitian bertema *Greenwashing* dan *Sustainable Development Goals* (SDGs) yang dipublikasikan pada basis data Scopus. Kontribusi penelitian ini adalah memberikan kebaruan terkait manfaat bibliometrik untuk mengetahui masalah inti terkait keterkaitan antara *Greenwashing* dengan *Sustainable Development Goals* (SDGs), serta mengetahui arah dan trend ilmu pengetahuan dengan tema *sustainability* serta memperkirakan lengkap atau tidaknya literatur sekunder. Pertanyaan penelitian berikut telah didefinisikan:

RQ: Bagaimana profil penelitian dengan tema *Greenwashing* dan *Sustainable Development Goals* (SDGs) yang dipublikasikan pada basis data Scopus dari tahun 2000 hingga 2022?

Perusahaan membuat pelaporan berkelanjutan sebagai legitimasi padahal sebenarnya belum atau tidak benar-benar melaksanakan bisnis yang berkelanjutan. Kedua fenomena tersebut terjadi secara global ditunjukkan dengan hasil-hasil penelitian pada satu dekade terakhir ini. *Greening* (Netto *et al.*, 2020), sedangkan *Greenwashing* (Aggarwal, 2014; Faisal *et al.*, 2020; Harymawan *et al.*, 2020; Mahoney *et al.*, 2013). *State of the art* dari penelitian ini adalah pembuktian dan pengukuran praktik *greenwashing* serta keterkaitannya dengan pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs). Dengan demikian kita mengetahui keberadaan *greenwashing*, pengukurannya, faktor-faktor yang menyebabkannya, dan dampak peraturan *mandatory disclosure*. Hasil penelitian ini juga akan memperkuat argumen, apakah teori signaling atau teori legitimasi.



Gambar 3.1. State of The Art

METODE

Analisis bibliometrik ini dilakukan menggunakan basis data Scopus untuk mengumpulkan data dokumen dengan keterkaitan antara *Global University Rank* (GUR) dan *Sustainability university Rank* (SUR) dalam pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs). Scopus merupakan basis data publikasi multidisiplin yang luas. Kutipan dan abstrak dari berbagai jenis publikasi seperti makalah peer-review, jurnal, buku, paten dan publikasi konferensi dapat dilihat pada Scopus. Scopus juga memiliki filter seperti jenis akses, nama penulis, tahun, tipe dokumen hingga Bahasa yang dapat digunakan untuk mempermudah pencarian. Selain itu Scopus menawarkan alat untuk menyimpan data dokumen berupa informasi sitasi dan bibliografi serta abstract dan kata kunci dalam format RIS, CSV, BibTeX, dan plain text.

Pengambilan data dokumen menggunakan kata kunci *Global University Rank* (GUR) dan *Sustainability university Rank* (SUR). Data diambil pada bulan Desember 2022 dan diperoleh sebanyak 92 dokumen. Data ini kemudian disaring kembali, diambil hanya yang berjenis artikel di jurnal, open acces,

publikasinya dalam bahasa Inggris dan sudah berada pada tahap akhir dengan hasil sebanyak 72 dokumen. Kata kunci digunakan untuk memudahkan pencarian dokumen dengan tema *Global University Rank (GUR)* dan *Sustainability university Rank (SUR)*. Data bibliometrik 92 dokumen tersebut kemudian diolah menggunakan R-biblioshiny untuk menunjukkan matriks sitasi dan membuat serta memvisualisasikan jaringan 44ecade44etric. Selain itu dilakukan pula analisis tambahan yaitu analisis *sensitivity* dengan menggunakan *Vos Viewer*.

INFORMASI DATA UTAMA

Publikasi yang digunakan pada penelitian ini berasal dari tahun 2000 sampai 2021 namun data menunjukkan tahun termuda adalah tahun 2012 yang membahas tentang *Greenwashing* dan *Sustainable Development Goals*. Selama kurang lebih dua 44ecade, berasal dari 29 sumber berupa 17 jurnal, 2 buku, 6 *book chapter*, 4 conference paper, 1 catatan dan 1 hasil review. Terdapat 75 penulis, dengan jumlah penulis yang tidak berkolaborasi sebanyak 13 penulis pada 13 artikel. Data lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Informasi Data Utama

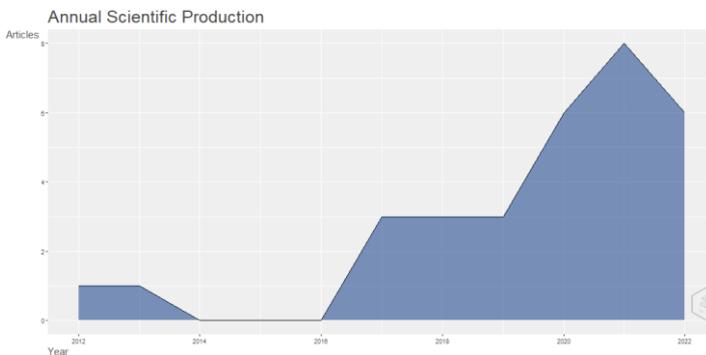
<i>Description</i>	<i>Results</i>
<i>DOCUMENT TYPES</i>	
Article	17
Book	2
<i>Book Chapter</i>	6
<i>Conference Paper</i>	4
Note	1
Review	1
<i>DOCUMENT CONTENTS</i>	
<i>Keywords Plus (ID)</i>	168
<i>Author's Keywords (DE)</i>	119
<i>AUTHORS</i>	
<i>Authors</i>	75
<i>Author Appearances</i>	79

<i>Authors of single-authored documents</i>	13
<i>Authors of multi-authored documents</i>	62
AUTHORS COLLABORATION	
<i>Single-authored documents</i>	13
<i>Documents per Author</i>	0.413
<i>Authors per Document</i>	2.42
<i>Co-Authors per Documents</i>	2.55
<i>Collaboration Index</i>	3.44

Source: Olahan data R Biblioshiny

TREND PUBLIKASI DAN SITASI

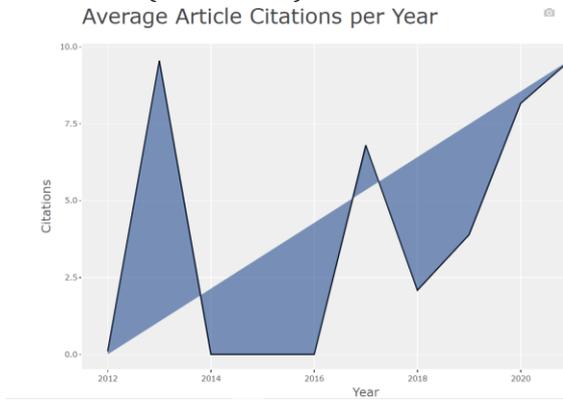
Publikasi paling awal di Scopus dengan menggunakan kata kunci *Greenwashing* dan *Sustainable Development Goals* berada di tahun 2012 dan terus meningkat hingga bulan Oktober tahun 2022 (Gambar 3.2). Publikasi dengan tema *Greenwashing* dan *Sustainable Development Goals* paling banyak terdapat di tahun 2021 dengan jumlah 8 artikel. Rata-rata pertumbuhan tren publikasi dengan tema ini sebesar 2.42%.



Gambar 3.2. Average Scientific Production

Secara keseluruhan publikasi dengan tema *Greenwashing* dan *Sustainable Development Goals* trendnya semakin meningkat. Pada tahun 2012 hingga 2014 terdapat sitasi sebanyak hampir 10 artikel, Namun di tahun 2014-2016 tidak terdapat sitasi. Sedangkan trend sitasi mengalami fluktuasi dengan trend yang semakin menurun. Pada

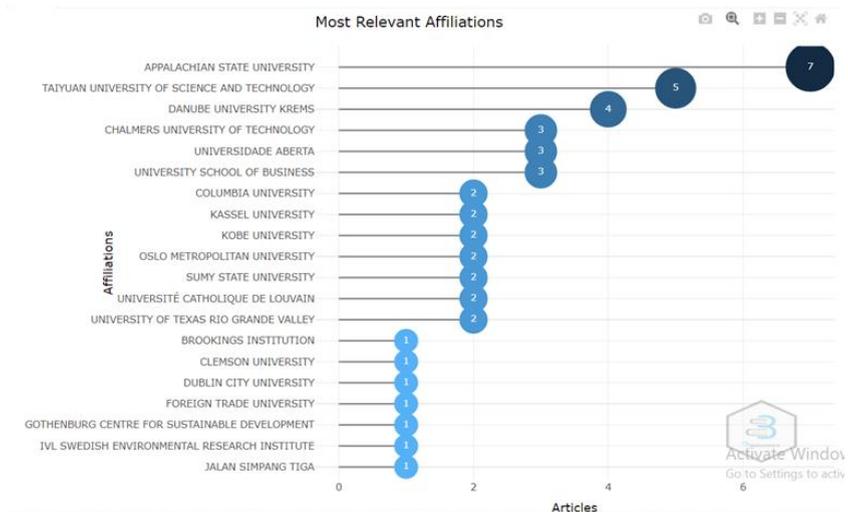
tahun 2017 mengalami peningkatan sitasi meskipun menurun kembali hingga tahun 2022 (Gambar 3.3).



Gambar 3.3. Average Citations per Year

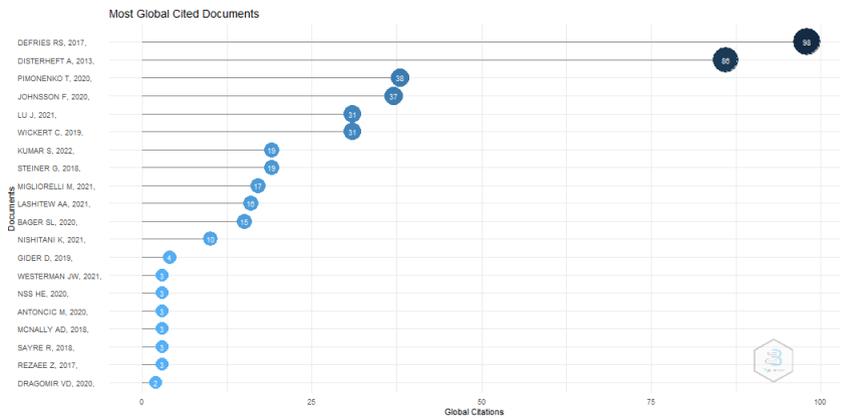
JURNAL TERELEVAN DAN SITASI TERBANYAK

Terkait dengan afiliasi terbanyak dilakukan oleh *Appalachian State University* sebanyak 7 document. Berikutnya dilakukan oleh *Taiyuan University of Science and Technology* sebanyak 5 document; *Danube University Krems* sebanyak 5 document, sedangkan *Chalmers University of Technology*; *Universidade Aberta*, *University School of Business* sebanyak 3 dokumen. Selebihnya hanya berkisar antara 1-2 dokumen (Gambar 3.4).



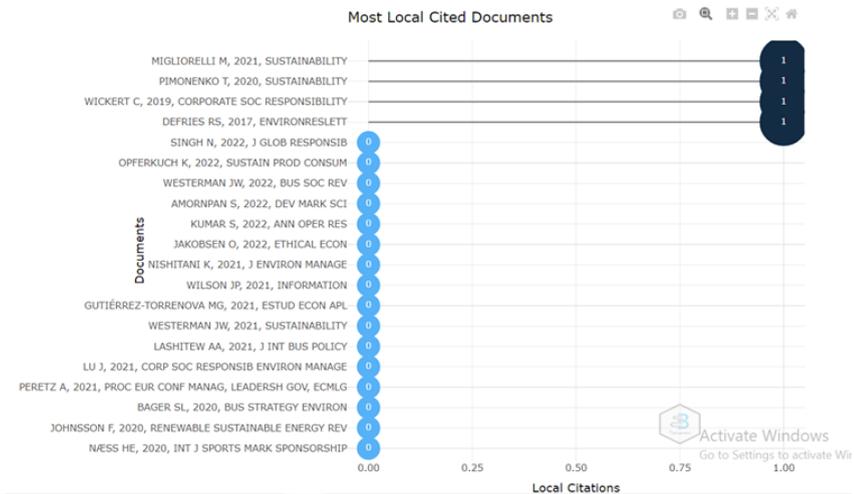
Gambar 3.4. Most Relevant Sources

Berdasarkan Gambar 3.5 dapat terlihat bahwa publikasi yang paling berpengaruh dilihat dari jumlah sitasi globalnya adalah artikel milik Veleva yang diterbitkan 2001 pada *Journal of Cleaner Production* sebanyak 157. Urutan kedua artikel yang paling banyak disitasi secara global juga diperoleh SI J. Artikel tersebut diterbitkan tahun 2016 pada *Sustainability Cites Social* dengan jumlah sitasi sebanyak 139 (Gambar 3.5).



Gambar 3.5. Source Local Impact by H Index

Berdasarkan Gambar 3.6 dapat terlihat bahwa publikasi yang paling berpengaruh dilihat dari jumlah sitasi lokalnya adalah artikel milik Migliorelli yang diterbitkan 2021 pada *Sustainability* sebanyak 1; artikel milik Pimonenko yang diterbitkan 2020 pada *Sustainability*, artikel Wickert di tahun 2019 pada *Corporate Social Responsibility* sebanyak 1 kali; dan Defries pada tahun 2017 di *Jurnal Global Responsibility*.



Gambar 3.6. Most Local Cited Source

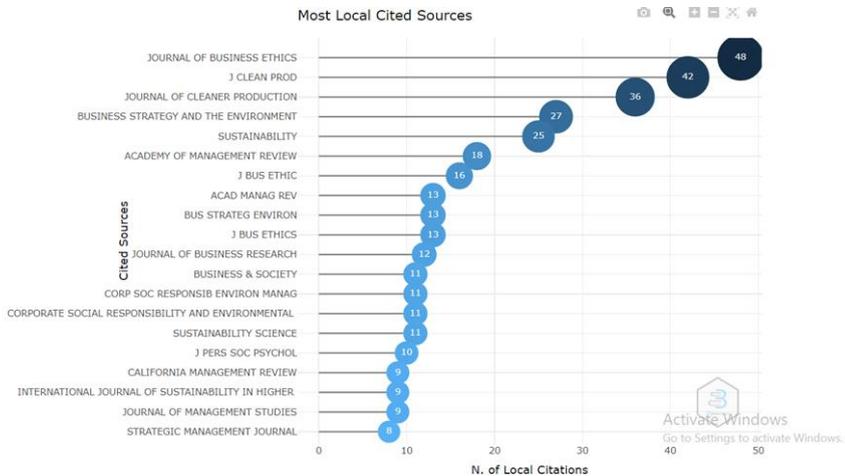
AFILIASI TERELEVAN DAN SITASI TERBANYAK

Jurnal yang paling banyak mempublikasikan artikel dengan tema *Greenwashing* dan *Sustainable Development Goals* adalah jurnal *Sustainability* dengan total artikel sebanyak 3. Terdapat perbedaan yang signifikan dengan jurnal-jurnal lain yaitu *Corporate Social Responsibility*, *Journal of Environmental Management*, *Journal of Global Responsibility* dan lainnya yang kisaran hanya 1 paper terkait publikasi artikel dengan tema serupa (Gambar 3.7).



Gambar 3.7. Most Relevant Affiliation

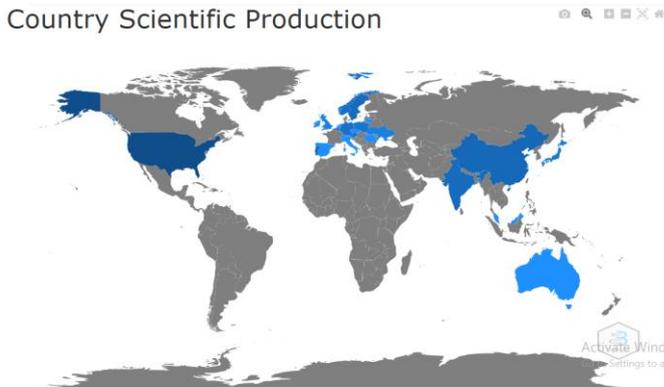
Sementara itu Gambar 3.8, menunjukkan jurnal yang paling relevan berdasarkan jumlah total sitasi secara lokal. Jurnal yang paling banyak disitasi secara lokal adalah *Journal of Business Ethics* dengan total sitasi sebanyak 48; *Journal Cleaner Production* sebanyak 42; *Journal of Cleaner Production* sebanyak 36 *paper*; *Business Strategy and The Environment* sebanyak 27 jurnal dan *Sustainability journal* sebanyak 25 *journal*, sedangkan jurnal yang lain hanya disitasi dalam kisaran 8-18 kali.



Gambar 3.8. Most Local Cited Documents

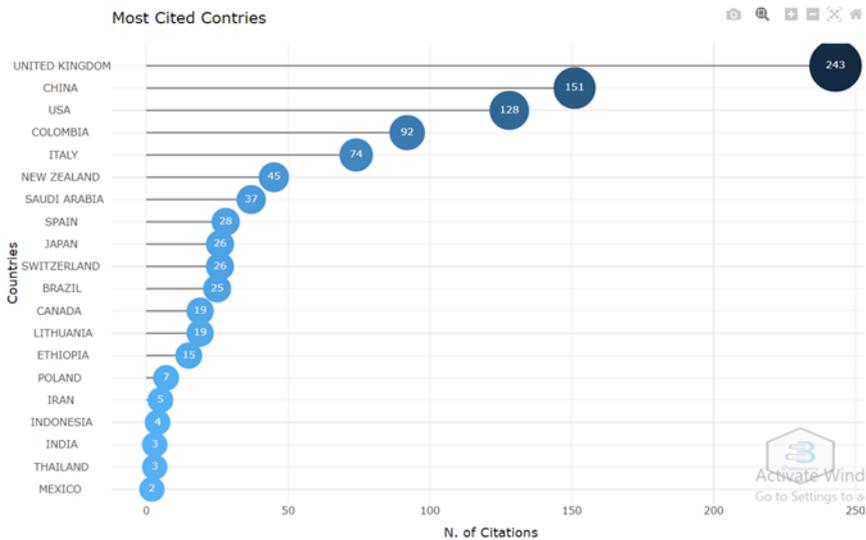
NEGARA TERPRODUKTIF DAN SITASI TERBANYAK

Menurut Gambar 3.9, penulis terproduktif berasal dari USA sebanyak 21 artikel; China dan Portugal sebanyak 6 artikel; India dan Sweden sebanyak 5 artikel; Germany & Norway sebanyak 4 artikel; Austria, Belgium, Japan, Poland sebanyak 3 artikel; UK dan Ukraine sebanyak 2 artikel. Negara lain sebanyak 2 paper yaitu UK dan *Ukraine*; negara *Australia*, *Czech Republic*, *Ireland*, *Italy*, *Lithuania*, *Malaysia* dan *Netherlands*.



Gambar 3.9. Country Scientific Production

Terkait dengan negara yang paling berpengaruh (terbanyak disitasi) dipimpin oleh UK sebanyak 243 sitasi, kemudian disusul oleh China sebanyak 151 sitasi, USA sebanyak 128 sitasi, Colombia sebanyak 92 sitasi dan *Italy* sebanyak 74 sitasi. Sedangkan negara negara lain hanya disitasi dengan kisaran 2-45. Informasi ditunjukkan pada Gambar 3.10.

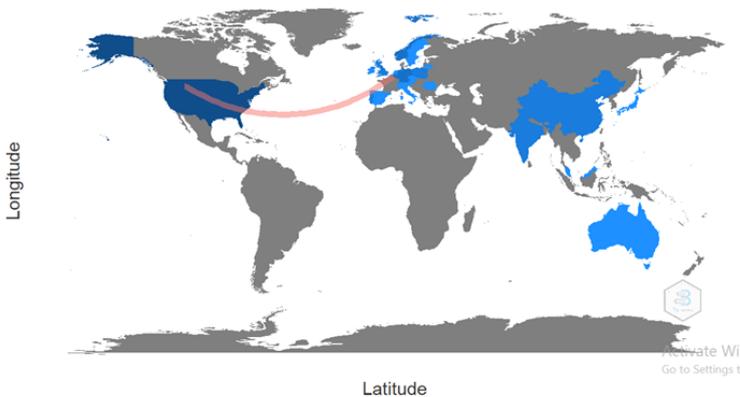


Gambar 3.10. Most Cited Countries

KOLABORASI PENULIS ANTARNEGARA

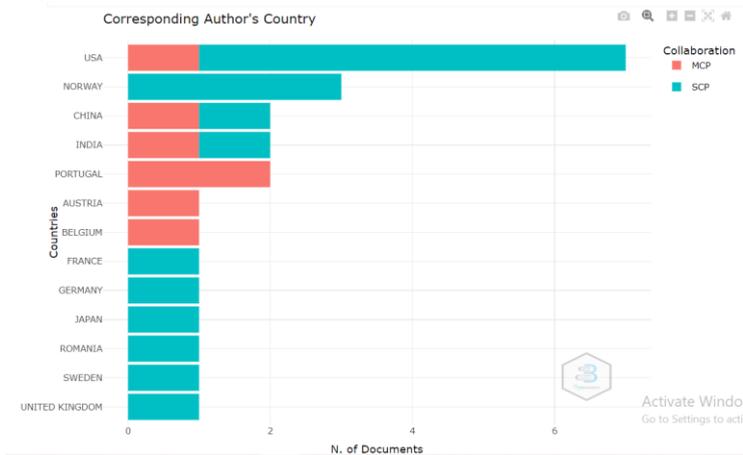
Berdasarkan gambar 3.11, penulis yang paling banyak melakukan kolaborasi antarnegara adalah penulis-penulis yang berasal dari negara India dan *Poland*. Penulis India paling banyak berkolaborasi dengan penulis dari penulis negara Australia, *Ireland*, dan Malaysia. Kemudian penulis *Poland* paling banyak berkolaborasi dengan penulis dari *Czech Republic*, *Lithuania* dan *Ukraine*. Penulis Australia berkolaborasi dengan *Ireland* dan Malaysia; Penulis China berkolaborasi dengan Lithuania dan *Poland*; dan Portugal berkolaborasi dengan *Germany* dan *Italy*. Penulis dari Indonesia tercatat belum melakukan publikasi dan berkolaborasi dengan negara lain.

Country Collaboration Map



Gambar 3.11. Country Collaboration Map

Terkait dengan Gambar 3.12 terkait dengan *corresponding author*, didapatkan hasil bahwa terbanyak dari USA, *Norway*, China, India dan Portugal. Selanjutnya diikuti negara Austria, *Belgium*, *France*, *Germany*, *Japan*, *Romania*, *Sweden*, dan UK. Secara general nampak bahwa *author* berkolaborasi dengan *author* lain di negara yang sama dikenal dengan *Single Country Publication* (SCP) dibanding *Multiple Country Publication* (MCP). Namun *Portugal*, *Austria* dan *Belgium* didominasi MCP.

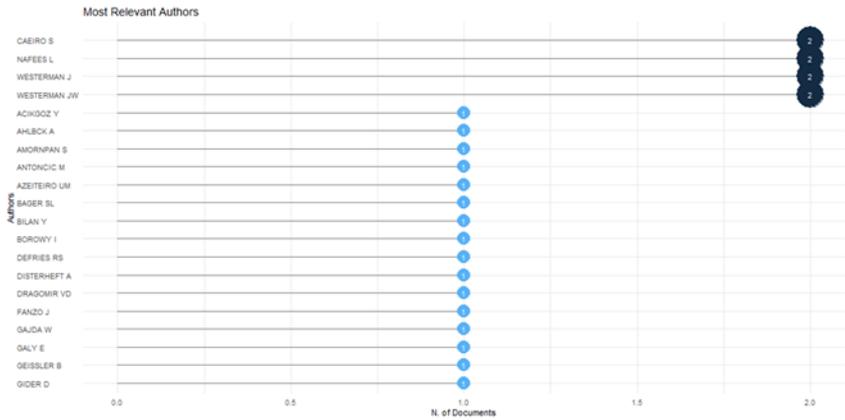


Gambar 3.12. Corresponding Author's Country

Terkait dengan Gambar 3.12 terkait dengan *corresponding author*, didapatkan hasil bahwa terbanyak dari USA, China dan UK. Selanjutnya diikuti negara *Canada, Malaysia, Spain, Switzerland, India, Indonesia, Japan* dan *Poland*. Secara general nampak bahwa *author* berkolaborasi dengan *author* lain di negara yang sama dikenal dengan *Single Country Publication (SCP)* dibanding *Multiple Country Publication (MCP)*.

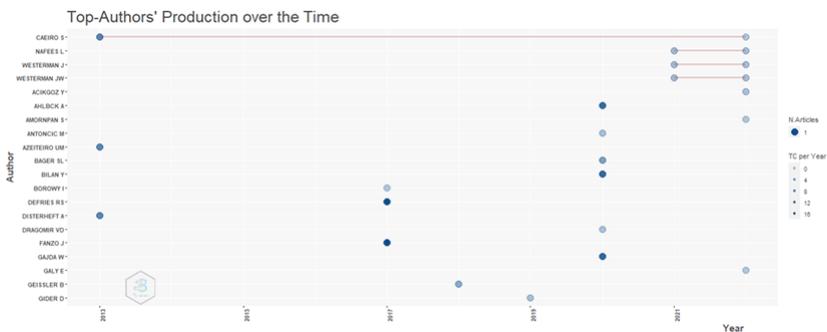
PENULIS PALING PRODUKTIF

Gambar 3.13 menunjukkan dua puluh penulis paling produktif pada artikel dengan tema kunci *Greenwashing* dan *Sustainable Development Goals*. Titik biru menunjukkan jumlah publikasi, semakin besar ukuran lingkarannya semakin banyak jumlah publikasinya. Sementara itu kepekatan warna menunjukkan jumlah sitasi, semakin pekat warnanya semakin banyak jumlah sitasinya. Gambar produktifitas penulis menunjukkan urutan teratas ditempati oleh Caeiro, diikuti Nafees, Westerman J dan Westerman JW.



Gambar 3.13. Top-Authors’ Production over the Time

Gambar 3.14 memberikan gambaran yang lebih detail. Caeiro merupakan *author* yang paling produktif, dimana memiliki tiga publikasi dari tahun 2012 sampai dengan tahun 2022. Kemudian terdapat Nafees, Weterman J dan Westerman JW dengan total masing masing satu publikasi sejak tahun 2021 hingga 2022. Selanjutnya Azeiteiro dan Disterheft merupakan penulis di tahun 2012. Borowy, Defries dan Fanzo tercatat mulai menulis artikel bertemakan kunci *Greenwashing* dan *Sustainable Development Goals* di tahun 2017, dan penulis terbanyak ditahun 2020 yaitu Ahlbck, Antoncic, Bager, Bilan, Dragomir dan Gajda.



Gambar 3.14. Most Relevant Authors

Peneliti lokal semua memiliki pengaruh yang sama sebanyak 1 artikel untuk 20 penulis. Caeiro, Nafees, Weterman J,

Westerman JW, Azeiteiro, Disterheft, Borowy, Defries, Fanzo, Ahlbck, Antonicic, Bager, Bilan, Dragomir dan Gajda memiliki pengaruh yang sama secara lokal terkait artikel bertemakan kunci *Greenwashing* dan *Sustainable Development Goals*.



Gambar 3.15. Author Local Impact by H Index

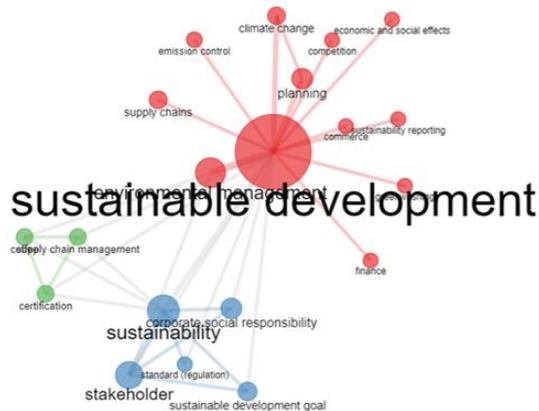
THEMATIC EVOLUTION

Gambar 3.16 menunjukkan terdapat pergeseran tema antara tahun 2012-2020 dan 2021-2022. Tema *sustainability development* masih menarik untuk diteliti hingga saat ini. Tema *stakeholder*, *sustainability development* dan *sustainability development goals* merupakan trending tema pada dua tahun terakhir ini.



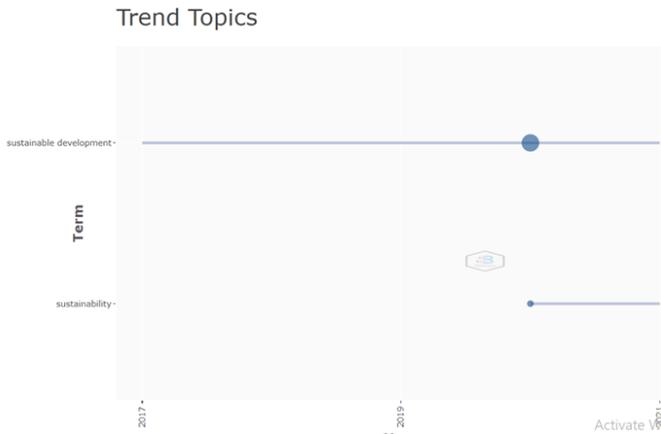
Gambar 3.16. Peta Evolusi Tema

Pada gambar 3.17 terkait *thematic map* ditunjukkan bahwa *sustainability development* menjadi isu penting yang menghubungkan antara dua kluster, sehingga perlu dilakukan penelitian mendatang misalnya terkait hubungan antara *sustainability reporting* dengan *sustainability development goals* (SDGs).



Gambar 3.17. *Thematic Map*

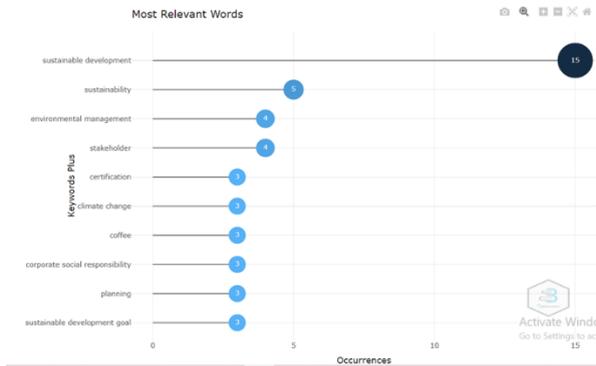
Sejak tahun 2017 hingga 2021 tema *sustainability development* menjadi *trending topic*. Tema *sustainability* baru muncul di tahun 2020 hingga 2021. Tema tema yang lain terkait *sustainability* tidak banyak menjadi perhatian peneliti pada satu dekade terakhir.



Gambar 3.18. Topik Trend

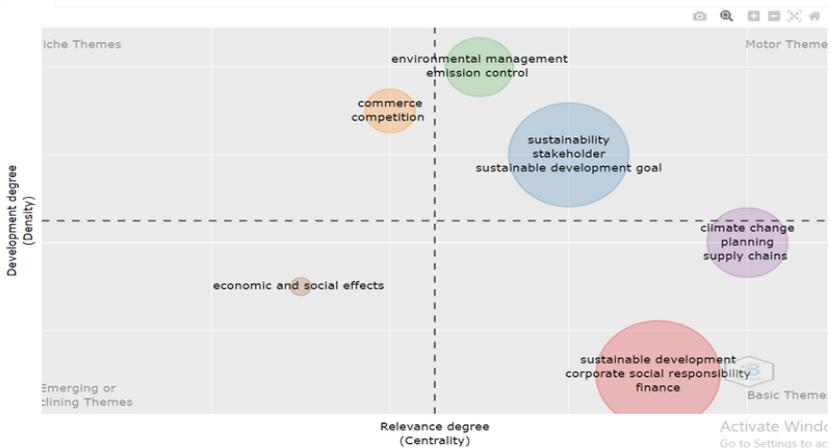
KEYWORDS

Pada Gambar 3.19, 3.20, dan 3.21 menunjukkan *keyword* yang banyak digunakan adalah *sustainable development* sebanyak 15 (15%) artikel, selanjutnya *sustainability* 5 (5%) artikel dan yang ketiga *environmental management* dan *stakeholder* sebanyak 4 (4%) artikel. Sisanya sebanyak 3 artikel.



Gambar 3.19. Most Relevant Words

bahwa adanya keterkaitan antara tiga tema yaitu *sustainability development, sustainability and education* berada di kuadran kanan bawah. Penelitian lebih lanjut terkait hubungan antara *sustainability in higher education* dengan *sustainability development* memiliki peluang besar dan layak untuk dilakukan karena sentralitasnya tinggi namun masih jarang dilakukan hingga saat ini

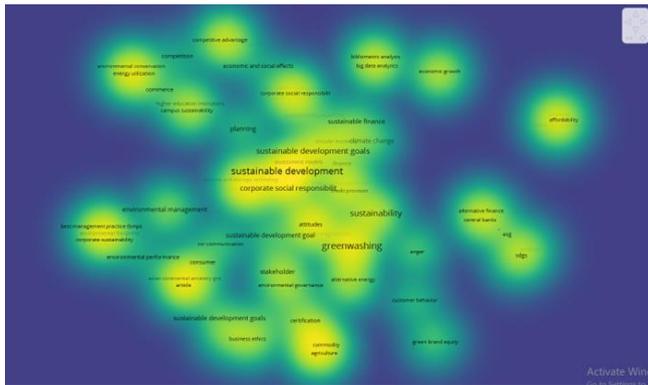


Gambar 3.22. Density

CONCEPTUAL STRUCTURE

Selanjutnya dilakukan pula analisis tambahan dengan menggunakan *Vos Viewer*. Hasil penelitian menunjukkan *Sustainability Development Goals* dan *Greenwashing* masih menjadi topik yang menarik untuk diteliti hingga saat ini ditunjukkan oleh trend publikasi tahunan. *Conceptual structure* berdasar *co occurrence* menunjukkan bahwa terdapat keterkaitan antar *keyword sustainability development, sustainability developments goals, greenwashing, sustainability, corporate social respomsibility*. Semakin besar tulisan *keyword* maka menunjukkan bahwa *keyword* tersebut memiliki keterkaitan beragam dengan *keyword* lain (Gambar 3.23).

Penelitian mendatang dapat mengikuti tren topik ini, karena masih belum banyak diteliti oleh para peneliti sebelumnya. Hasil *vos viewer* ini konsisten dengan hasil *biblioshiny* yaitu *keyword* yang banyak digunakan adalah *sustainable development*, *sustainability* dan *human*. Hal ini ditunjukkan dengan *font keyword* tersebut lebih besar dibanding yang lainnya.



Gambar 3.27. Density Visualization Vos Viewer (Co ccuranceship)

SIMPULAN

Artikel dengan tema *Greenwashing* dan *Sustainable Development Goals* diterbitkan tahun 2012 dan masih menjadi tema yang menarik untuk diteliti hingga saat ini. Selama kurang lebih dua dekade, berasal dari 29 sumber berupa 17 jurnal, 2 buku, 6 book chapter, 4 conference paper, 1 catatan dan 1 hasil review. Terdapat 75 penulis, dengan jumlah penulis yang tidak berkolaborasi sebanyak 13 penulis pada 13 artikel. Jurnal *Sustainability* paling banyak menuat Penulis Indonesia belum ada yang terdaftar, sehingga penelitian ini diharapkan dapat memberikan referensi terutama bagi penulis Indonesia yang akan melakukan publikasi internasional dengan tema serupa. Keterbatasan penelitian ini adalah sebagian besar pengolahan data didasarkan pada kata kunci yang tidak disertai alasan pemilihan kata kunci tersebut. Selain itu data yang digunakan terbatas pada artikel yang dipublikasikan di Scopus. Penulis Indonesia

disarankan untuk dapat berkolaborasi dengan lebih banyak peneliti dari negara lain yang memiliki peneliti yang sangat produktif terkait tema ini. Peluang publikasi internasional juga akan menjadi lebih besar apabila publikasi ditargetkan pada jurnal-jurnal yang telah banyak menerbitkan karya penulis Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Adomssent, M., Godemann, J., Michelsen, G., Barth, M., Rieckmann, M., & Stoltenberg, U., 2007. Developing Key Competencies for Sustainable Development in Higher Education. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 2007.
- Aggarwal, P., 2014. Sustainability Reporting and Its Impact on Corporate Financial Performance: A Literature Review. *Indian Journal of Commerce & Management Studies*, IV, pp.14–17.
- Andreoli, T.P., Crespo, A., & Minciotti, S., 2017. What has been (Short) Written about Greenwashing: A Bibliometric Research and a Critical Analysis of the Articles Found Regarding this Theme. *Revista de Gestao Social e Ambiental*, 11(2).
- Avelar, A.B.A., Silva-Oliveira, K.D.da., & Pereira, R.da-S., 2019. Education for Advancing the Implementation of the Sustainable Development Goals: A Systematic Approach. *International Journal of Management Education*, 17(3), pp.100322.
- Balluchi, F., Lazzini, A., & Torelli, R., 2020. CSR and Greenwashing: A Matter of Perception in the Search of Legitimacy. *SSRN Electronic Journal*, 2020.
- Barth, M., & Rieckmann, M., 2016. State of the Art in Research on Higher Education for Sustainable Development. *Routledge Handbook of Higher Education for Sustainable Development*, 2019, pp. 100–113.
- Bedin, É.P., & Faria, L.C.de., 2021. Sustainability in Higher Education Institutions (HEI): Merging the Study Systematic Review, Analysis Content and Bibliometrics. *Macro Management & Public Policies*, 3(3).
- Berrone, P., Fosfuri, A., & Gelabert, L., 2017. Does Greenwashing Pay Off? Understanding the Relationship Between Environmental

- Actions and Environmental Legitimacy. *Journal of Business Ethics*, 144(2), pp.363–379.
- Bieńkowska, J., 2016. Reflection on Creativity in Management. The Problem of Defining the Problem and Its Practical Application. *The International Conference on Management: Trends of Management in the Contemporary Society*, Issue February.
- Côrtes, P.L., & Rodrigues, R., 2016. A Bibliometric Study on “Education for Sustainability.” *Brazilian Journal of Science and Technology*, 3(1).
- de-Freitas Netto, S.V., Sobral, M.F.F., Ribeiro, A.R.B., & Soares, G.R.da-L., 2020. Concepts and Forms of Greenwashing: a Systematic Review. *Environmental Sciences Europe*, 32(1).
- de-Vries, G., Terwel, B.W., Ellemers, N., & Daamen, D.D.L., 2015. Sustainability or Profitability? How Communicated Motives for Environmental Policy Affect Public Perceptions of Corporate Greenwashing. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 22(3), pp.142–154.
- Delmas, M.A., & Burbano, V.C., 2011. Vanessa Burbano: The Drivers of Greenwashing. *Journals.Sagepub.Com*, 54(1), pp.64–87.
- Diem, A., & Wolter, S.C., 2013. The Use of Bibliometrics to Measure Research Performance in Education Sciences. *Research in Higher Education*, 54(1), pp.86–114.
- Faisal, F., Napitupulu, M.A., & Chariri, A., 2019. Corporate Social and Environmental Responsibility Disclosure in Indonesian Companies: Symbolic or Substantive?. *Pertanika Journal of Social Sciences and Humanities*, 27(1), pp.259–277.
- Faisal, F., Situmorang, L.S., Achmad, T., & Prastiwi, A., 2020. The Role of Government Regulations in Enhancing Corporate Social Responsibility Disclosure and Firm Value. *Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 7(8), pp.509–518.
- Grosseck, G., Tîru, L.G., & Bran, R.A., 2019. Education for sustainable Development: Evolution and Perspectives: A Bibliometric Review of Research, 1992-2018. *Sustainability (Switzerland)*, 11(21), pp.1992–2018.
- Hallinger, P., & Chatpinyakoop, C., 2019. A Bibliometric Review of Research on Higher Education for Sustainable Development,

- 1998-2018. *Sustainability (Switzerland)*, 11(8).
- Hallinger, P., & Nguyen, V.T., 2020. Mapping the Landscape and Structure of Research on Education for Sustainable Development: A Bibliometric Review. *Sustainability (Switzerland)*, 12(5), pp.1-16.
- Harymawan, I., Nasih, M., Salsabilla, A., & Putra, F.K.G., 2020. External Assurance on Sustainability Report Disclosure and Firm Value: Evidence from Indonesia and Malaysia. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 7(3), pp.1500-1512.
- Jussila, L., 2019. Going Green or Greenwashing?. *Perceived Environmental Brand*.
- Khan, H.Z., Bose, S., Mollik, A.T., & Harun, H., 2021. "Greenwashing" or "Authentic Effort"? An Empirical Investigation of the Quality of Sustainability Reporting by Banks. *Accounting, Auditing and Accountability Journal*, 34(2), pp.338-369.
- Kılıç, M., Uyar, A., & Karaman, A.S., 2019. What Impacts Sustainability Reporting in the Global Aviation Industry? An Institutional Perspective. *Transport Policy*, 79, pp.54-65.
- Koch, B., 2016. *Greening or Greenwashing Dirty Laundry? Tracing Sustainability in the Tirupur Textile Cluster*.
- Kopnina, H., 2020. Education for Sustainable Development Goals (ESDG): What is Wrong with ESDGS, and what Can We Do Better?. *Education Sciences*, 10(10), pp.1-14.
- Kurpierz, J.R., & Smith, K., 2020. The Greenwashing Triangle: Adapting Tools from Fraud to Improve CSR Reporting. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, 11(6), pp.1075-1093.
- Lewis, J.K., & Lewis, J.K., 2016. Digital Commons @ Salve Regina Corporate Social Responsibility / Sustainability Reporting Among the Fortune Global 250: Greenwashing or Green Supply Chain?. *Corporate Social Responsibility/ Sustainability Reporting Among The Fortune Global 250*. Greenwa.
- Liu, X., 2013. Full-Text Citation Analysis: A New Method to Enhance. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 64, pp. 1852-1863.

- Liu, Z., Moshi, G.J., & Awuor, C.M., 2019. Sustainability and Indicators of Newly Formed World-class Universities (NFWCUs) between 2010 and 2018: Empirical Analysis from the Rankings of ARWU, QSWUR and THEWUR. *Sustainability (Switzerland)*, 11(10).
- Mahoney, L.S., Thorne, L., Cecil, L., & LaGore, W., 2013. A Research Note on Standalone Corporate Social Responsibility Reports: Signaling or Greenwashing?. *Critical Perspectives on Accounting*, 24(4-5), pp.350-359.
- Malmberg, J.L., & E., 2016. *Sustainability Reports: Environmental Friendly or a Greenwashing Tool?*
- Marquis, C., Toffel, M.W., & Zhou, Y., 2016. Scrutiny, Norms, and Selective Disclosure: A Global Study of Greenwashing. *Organization Science*, 27(2), pp.483-504.
- Marrone, P., Orsini, F., Asdrubali, F., & Guattari, C., 2018. Environmental Performance of Universities: Proposal for Implementing Campus Urban Morphology as an Evaluation Parameter in Green Metric. *Sustainable Cities and Society*, 42, pp.226-239.
- Martin-sardesai, A., & Manes-rossi, F., 2020. New Trends in Public Sector Reporting. *New Trends in Public Sector Reporting*, 2020.
- Nadanyiova, M., & Kliestikova, J., 2017. Green Marketing vs. Greenwashing. How to Protect Against Negative Impact of Greenwashing?. *GATR Journal of Management and Marketing Review*, 2(1), pp.53-58.
- Owens, T.L., 2017. Higher Education in the Sustainable Development Goals Framework. *European Journal of Education*, 52(4), pp.414-420.
- Pizzi, S., Caputo, A., Corvino, A., & Venturelli, A., 2020. Management Research and the UN Sustainable Development Goals (SDGs): A Bibliometric Investigation and Systematic Review. *Journal of Cleaner Production*, 276, pp.124033.
- Politechniki, Z.N., Seria, S., & Politechnika, W., 2016. Relations Between Corporate Social Responsibility 2. *Reporting on Corporate Social Responsibility*.
- Prieto-Jiménez, E., López-Catalán, L., López-Catalán, B., &

- Domínguez-Fernández, G., 2021. Sustainable Development Goals and Education: A Bibliometric Mapping Analysis. *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), pp.1–20.
- Rohrich, S.S., & Takahashi, A.R.W., 2019. Environmental Sustainability in Higher Education Institutions, a Bibliometric Study on National Publications. *Gestao e Producao*, 26(2).
- Shabana, K.M., Buchholtz, A.K., & Carroll, A.B., 2017. The Institutionalization of Corporate Social Responsibility Reporting. *Business and Society*, 56(8), pp.1107–1135.
- Shabana, K.M., & Ravlin, E.C., 2016. Corporate Social Responsibility Reporting as Substantive and Symbolic Behavior: A Multilevel Theoretical Analysis. *Business and Society Review*, 121(2), pp.297–327.
- Tahir, R., Athar, M.R., & Afzal, A., 2020. The Impact of Greenwashing Practices on Green Employee Behaviour: Mediating Role of Employee Value Orientation and Green Psychological Climate. *Cogent Business and Management*, 7(1).
- Vatananan-Thesenvitz, R., Schaller, A.A., & Shannon, R., 2019. A Bibliometric Review of the Knowledge Base for Innovation in Sustainable Development. *Sustainability (Switzerland)*, 11(20), pp.1–22.
- Viegas, C.V., Bond, A.J., Vaz, C.R., Borchardt, M., Pereira, G.M., Selig, P.M., & Varvakis, G., 2016. Critical Attributes of Sustainability in Higher Education: A Categorisation from Literature Review. *Journal of Cleaner Production*, 126, pp.260–276.
- Watson, B., 2016. The Troubling Evolution of Corporate Greenwashing. *Guardian Sustainable Business*, 2016, pp.1–4.
- Wright, T., & Pullen, S., 2007. Examining the Literature: A Bibliometric Study of ESD Journal Articles in the Education Resources Information Center Database. *Journal of Education for Sustainable Development*, 1(1), pp.77–90.
- Wu, Y., Zhang, K., & Xie, J., 2020. Bad Greenwashing, Good Greenwashing: Corporate Social Responsibility and information transparency. *Management Science*, 66(7), pp.3095–3112.
- Yang, Z., Nguyen, T.T.H., Nguyen, H.N., Nguyen, T.T.N., & Cao, T.T.,

2020. Greenwashing Behaviours: Causes, Taxonomy and Consequences Based on a Systematic Literature Review. *Journal of Business Economics and Management*, 21(5), pp.1486–1507.

Zhang, Y.Y., & Wang, P., 2021. Detecting the Historical Roots of Education for Sustainable Development (ESD): a Bibliometric Analysis. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 2021.

BAB IV. CUACA DAN KEGIATAN PERTANIAN GARAM DI KECAMATAN KALIORI - REMBANG

Eva Banowati¹, Fauzi Firmanzah²

¹Program Studi Geografi FIS, Universitas Negeri Semarang

²Program Studi Geografi FIS, Universitas Negeri Semarang

evabanowatigeografi@mail.unnes.ac.id

fauzifirmanzah8@students.unnes.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.15294/ka.v1i2.142>

ABSTRAK

Pertanian Garam di Indonesia dikerjakan konvensional, kondisi ini pengaruh cuaca mendominasi produksinya. Kebutuhan garam terus meningkat, sedangkan kuantitas garam fluktuatif. Lahan garam bagaimanakah yang dapat dimanfaatkan agar produksi optimal. Untuk menjawabnya penelitian ini menetapkan Kabupaten Rembang-Jawa Tengah sebagai lokasi penelitian. Menggunakan metode kuantitatif dan kualitatif, petani garam sebagai responden. Teknik pengambilan data berupa wawancara, observasi, dan dokumentasi. Dianalisis menggunakan regresi untuk mengkaji pengaruh fungsional variabel perubahan cuaca terhadap produksi garam dan analisis kualitatif untuk mendeskripsikan pertanian, dan pemetaan lahan garam. Hasil penelitian mengindikasikan pengaruh cuaca yang meliputi kecepatan angin, curah hujan, dan suhu memberikan pengaruh tidak signifikan terhadap kuantitas dan kualitas garam dibuktikan dengan hasil perhitungan nilai Sig $0,519 > 0,05$ dengan F hitung $0,820 < 3,86$. Faktor signifikan yang mempengaruhi kuantitas produk diantaranya luas lahan, pendidikan dan pengetahuan, penggunaan teknologi, pola usaha lahan integrasi, sedangkan variasi teknologi berpengaruh terhadap kualitas garam. Produktivitas penggunaan teknologi geomembran integrasi dengan luasan 292,91 ha mencapai 22.988 ton kelas K1 (1: 78,48), sedangkan untuk non integrasi (non geomembrane) dari 631,54 ha

mencapai 17.246 K1 dan 24.201 ton K2 (1:15,237), serta fungsi petak. Eduksi kepada petani garam mengenai pentingnya memahami kondisi cuaca dan pemanfaatan teknologi dapat meningkatkan produksi dan kualitas garam. Pemetaan periodic diperlukan untuk memprediksi dan mengkalkulasi kemampuan produksi sangat diperlukan.

Kata kunci: Cuaca, Garam, Pertanian

PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk serta berkembangnya industri menyebabkan kebutuhan garam terus meningkat. Menurut data Badan Pusat Statistika, pada tahun 2020 kebutuhan garam nasional mencapai 4,6 juta ton. Sementara produksi garam nasional mencapai 1,5 juta ton, pencukupannya didapat dari mengimpor. Langkah tersebut diperkuat dengan kenyataan bahwa produk garam di Indonesia masih belum memenuhi standar ataupun syarat kualitas yang dibutuhkan industri. Perubahan iklim dan cuaca memberikan dampak pada petani garam sehingga memberikan dampak bagi produk segi kualitas maupun kuantitas.

Produk garam di Indonesia digunakan sebagai garam industri dan garam konsumsi. Produksi garam dalam negeri memiliki tantangan yaitu kondisi cuaca, dimana masyarakat selalu tergantung pada musim kemarau, suhu, angin, kelembaban udara, dan penguapan setidaknya 1,5 bulan.

Kabupaten Rembang, Provinsi Jawa Tengah merupakan wilayah pesisir pantai utara yang memiliki potensi besar sebagai daerah penghasil garam. Pembuatan garam rakyat dilakukan di musim kemarau, di tahun 2020 terjadi pada bulan Juni hingga November. Bertani garam umumnya diusahakan secara turun temurun (konvensional), mengingat mahalnya biaya yang dikeluarkan untuk mengubah pola dan sistem pertanian menyebabkan petani lebih memilih cara lama yang dirasa lebih terjangkau. Mata pencaharian penduduk daerah pesisir sebagian besar sebagai nelayan, petani garam ataupun petambak di Kecamatan Kaliori, Rembang, Sluke, Lasem, dan Sarang.

Kecamatan Kaliore memproduksi garam terbanyak dengan total 47.158.001 Kg dengan luas lahan tambak garam 657,22 Ha, berasal dari 9 desa yakni Tunggul Sari, Tambakagung, Mojowarno, Dresi Kulon, Tasikharjo, Purworejo, Karangsekar, Bogoharjo, Banyudono. Pengelolaan lahan garam dibagi menjadi 2 kategori yaitu pola integrasi dan pola non integrasi.

1. Pola integrasi yaitu lahan yang ditetapkan oleh kelompok petani garam, nantinya pendapatan hasil produksi garam yang dari lahan tersebut dibagi rata dengan anggota kelompok. Berdasarkan penuturan responden, pola integrasi memiliki kontrak dengan durasi 5 tahun, untuk selanjutnya apakah diperpanjang atau tidak tergantung kesepakatan dari anggota kelompok petani tersebut. Pola integrasi memiliki pengelolaan yang berkelompok dari mulai kolam air muda, kolam peminihan dan meja kristalisasi.
2. Pola non integrasi adalah pemanfaatan lahan yang dilakukan oleh masyarakat secara individu, di mana penentuan lokasi kolam air muda, kolam peminihan, dan meja kristalisasi tergantung keinginan masing-masing. Hasil pendapatan dari pola non integrasi sepenuhnya masuk ke setiap individu.

Hasil produksi pola lahan integrasi cenderung memiliki kualitas yang baik dari pola lahan non integrasi, sehingga peningkatan kualitas tersebut berdampak pada peningkatan harga garam. Namun pemanfaatan pola integrasi yang cenderung harus menyamaratakan persepsi, modal, perizinan, serta minimal luasan lahan. Pertimbangan tersebut menyebabkan petani garam berpikir kembali untuk mengubah pola lahannya menjadi lahan integrasi.
Penjelasan lanjut di sub D3.

Pemanfaatan lahan sebagian besar dikelola oleh penggarap yang mayoritas merupakan penduduk setempat. Keterbatasan modal dan alat menyebabkan masyarakat sulit memiliki lahan sendiri dan memilih untuk menggarap lahan milik orang lain sehingga nantinya pendapatan dari produksi garam di bagi dengan pemilik lahan. Metode utama penggarapan evaporasi, yaitu memanfaatkan sinar matahari dalam melakukan

proses produksi garam. Jenis lahan termasuk ke dalam kategori mina garam dan sebagian tambak musiman.

1. Jenis lahan mina garam yaitu pemanfaatan lahan secara silih berganti antara tambak garam dan tambak bandeng/udang, lahan dimanfaatkan sebagai tambak garam saat memasuki musim kemarau. Memasuki musim penghujan, lahan tersebut dimanfaatkan sebagai tambak udang ataupun bandeng. Lahan dikatakan sebagai tambak musiman tergantung waktu pemanfaatan lahan sebagai tambak garam menyesuaikan keinginan petani.
2. Tambak musiman dipergunakan sebagai tambak garam saat cuaca mendukung ataupun saat harga garam naik. Tambak musiman dalam pemanfaatannya tidak teratur seperti tambak mina garam.

Penghasilan sebagai petani garam tidak menentu setiap tahunnya dipengaruhi penurunan produksi dan harga pasar. Anomali cuaca serta rekayasa teknologi juga menjadi hambatan bagi petani garam karena tingkat pendidikan yang rendah serta pengetahuan yang minim sehingga petani terus melakukan proses produksi konvensional. Persaingan dalam produksi dan peningkatan kualitas garam dengan produsen swasta maupun skala perusahaan menyebabkan petani sulit dalam memasarkan hasil panen sehingga mau tidak mau produksi garam ditimbun di gudang maupun dijual dengan harga di bawah pasaran.

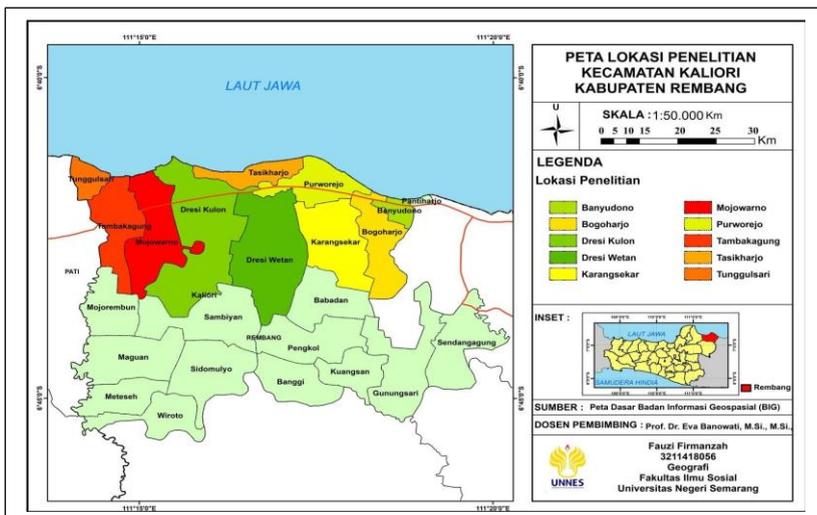
Bab ini disajikan dari resume hasil penelitian yang diharapkan dapat memberikan informasi dan pemikiran solutif mengatasi keberlanjutan ketersediaan rakyat, serta kebijakan ataupun langkah-langkah untuk dapat menghasilkan produk garam berkualitas baik. Sehingga garam yang dihasilkan dapat memenuhi standar konsumsi, industri di dalam atau bahkan luar negeri sejalan dengan implementasi konsep *blue economy* Indonesia sebagai negara maritim.

GEOGRAFIS LOKASI PENELITIAN

Lokasi penelitian di Kecamatan Kaliore wilayah Kabupaten Rembang, Provinsi Jawa Tengah, yang meliputi Wilayah Pesisir

Laut Jawa bertopografi datar, ketinggian rata-rata 0-100 mdpl. Luas wilayah 6.117 Ha (BPS, 2021), dikategorikan sebagai wilayah padat penduduk. Pemanfaatan lahan produktif sebagai tambak garam, udang, dan bandeng.

Penentuan wilayah Kecamatan Kaliori sebagai objek penelitian terutama mengenai lahan garam didasarkan pada komoditas unggulan di wilayah tersebut, produksi garam menjadi komoditas unggulan di beberapa tahun terakhir. Mayoritas penduduk berprofesi sebagai petani garam, baik pemilik lahan, penyewa lahan atau hanya penggarap lahan. Keunikan wilayah Kecamatan Kaliori adalah posisi lahan garam yang melebihi batas jalanan pantura menjadikan wilayah tersebut memiliki luasan lahan garam yang paling besar di Kabupaten Rembang.



Gambar 4.1. Peta Lokasi Penelitian

Secara klimatologis, Kabupaten Rembang merupakan wilayah yang memiliki iklim tipe D. Sifat iklim pada tipe ini antara 1 sampai 6 bulan basah dan 1 sampai 6 bulan berikutnya merupakan bulan kering yang memiliki suhu terendah 22°C sedangkan suhu maksimum mencapai 34°C. Rata-rata curah hujan 550 mm per tahun sehingga dikategorikan sebagai daerah yang memiliki curah hujan yang rendah. Kecamatan Kaliori secara

umum memiliki kondisi iklim yang tidak jauh berbeda dengan kondisi iklim dari keseluruhan wilayah Kabupaten Rembang dengan tipe iklim, curah hujan, dan suhu rata-rata sama seperti wilayah Kabupaten Rembang karena sebagian besar wilayah Kecamatan Kaliori meliputi wilayah pesisir Pantai Utara Jawa.

Berdasarkan peta jenis tanah, wilayah Kecamatan Kaliori tersusun dari beberapa formasi pembentukan tanah diantaranya aluvial, regosol dan hidromorf. Tanah aluvial merupakan jenis tanah yang berasal dari endapan material yang terjadi di hilir sungai hingga pertemuan antara sungai dan lautan sungai dengan struktur tanah yang tergolong liat berpasir dan kandungan pasir kurang dari 50%. Tanah aluvial biasanya dimanfaatkan sebagai lahan pertanian karena kandungan unsur hara yang tinggi. Pemanfaatan tanah aluvial di Kecamatan Kaliori sebagai lahan garam, dimana tanah tersebut memiliki pori mikro sehingga pengendapannya dapat berjalan dengan baik serta permeabilitas yang rendah dan tidak mudah retak.

Tanah Regosol merupakan tanah yang terbentuk dari bahan induk berasal dari material abu vulkanik dan pasir vulkanik. Tanah ini memiliki tekstur yang kasar, kaya dengan unsur hara, berwarna keabuan dan coklat, peka terhadap erosi, dan pada umumnya jika tekstur tanah semakin halus maka tingkat produktivitas tanah meningkat karena memiliki kemampuan menyerap air yang tinggi.

Tanah Hidromorf merupakan tanah yang terbentuk dari pelapukan batuan tufa vulkanik asam dan batu pasir. Tanah ini berwarna kelabu, dan coklat keabuandengan penggunaan lahan pada tanah ini meliputi pertambakan dan pertanian. Tanah Hidromorf memiliki produktivitas yang rendah hingga tinggi serta perkembangan tanah ini berada di wilayah yang topografinya merupakan dataran rendah serta hampir selalu tergenang air.

ANALISIS CUACA DAN PRODUKSI GARAM

Faktor cuaca terhadap kualitas dan kuantitas produksi garam menjadi variabel yang digunakan peneliti dalam memperoleh hasil penelitian. Deskripsi variabel cuaca yang

dijadikan sebagai tolak ukur dalam perhitungan peneliti diantaranya yaitu curah hujan, kecepatan angin, dan suhu.

1. Deskripsi Data Penelitian

Kecamatan kaliori yang memiliki wilayah pesisir terbesar di Kabupaten Rembang dimanfaatkan sebagai lahan garam sehingga memiliki potensi produksi yang melimpah dengan sebagian besar penduduk usia produktif bekerja sebagai petani garam.

Tabel 4.1. Distribusi Data Cuaca dan Produksi Garam Kecamatan Kaliori Tahun 2021

Bulan	Rerata Curah Kecepatan			Produksi Garam(ton)
	Rerata Suhu (C)	Hujan (mm/tahun)	angin (m/s)	
Januari	26,8	282	4,8	0
Februari	26,5	149	6,5	0
Maret	27,5	86	4,4	0
April	28,2	152	4,7	0
Mei	28,9	70	5	0
Juni	28,2	0	4,9	0
Juli	28,3	0	4,7	1.933
Agustus	28,4	0	5,4	17.056
Septembe r	28,6	83	5	19.754
Oktober	28,9	0	4,5	24.234
November	27,6	189	4	1.358
Desember	27,7	268	4,3	0

Sumber: Olah Data Penelitian, 2022

Produksi garam mengalami fluktuasi. Produksi mengalami peningkatan dan penurunan pada bulan Juli hingga bulan November. Kondisi tersebut disebabkan musim kemarau di tahun 2021 dimulai pada Bulan Juni - November. Analisis distribusi data curah hujan, petani tidak melakukan produksi pada bulan Juni karena pada bulan tersebut kebanyakan petani melakukan transisi (tambak musiman) fungsi lahan yang tadinya tambak udang ataupun bandeng diubah menjadi tambak garam.

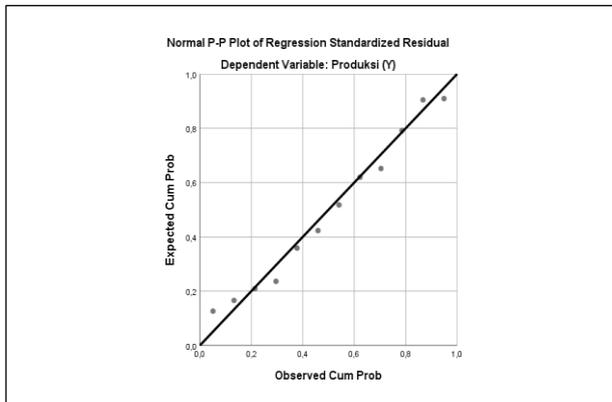
Produksi baru dapat dilakukan pada bulan Juli dengan total produksi awal mencapai 1.933 ton. Produksi tersebut terus mengalami peningkatan hingga puncak produksi jatuh pada bulan Oktober yaitu sebesar 24.234 ton. Namun pada bulan November, penurunan produksi menjadi 1.358 ton hingga di bulan Desember tidak lagi berproduksi.

2. Analisis Data Cuaca

Data cuaca yang telah dikumpulkan peneliti berupa data curah hujan, suhu, dan kelembaban untuk dianalisis dalam beberapa tahapan regresi linier berganda terhadap kualitas produksi garam. Perhitungan tersebut dilakukan untuk mengetahui berapa besar pengaruh cuaca berupa data di tahun 2021 terhadap kualitas produksi garam yang dihasilkan masyarakat Kecamatan Kaliori, Kabupaten Rembang.

a. Uji Normalitas

Uji normalitas merupakan uji yang menjadi syarat analisis regresi linier berganda karena jika pada data hasil penelitian melanggar asumsi ini, maka uji statistik menjadi tidak valid untuk jumlah sampel yang kecil. Uji ini sebagai alat bahwasannya data yang diperoleh peneliti apakah terdistribusi dengan normal atau tidak normal. Uji ini memiliki hipotesis awal (H_0) dan hipotesis alternatif (H_1). Menggunakan $\alpha = 5\%$ (0,05) yang berarti penarikan kesimpulan pada analisis didasarkan pada H_0 diterima apabila $Sig. > \alpha$. Pengujian tersebut menggunakan aplikasi SPSS. Selanjutnya dilakukan uji asumsi klasik, bertujuan untuk melihat persebaran data uji normalitas menggunakan interpretasi *normality p-p plot*.



Gambar 4.2. Uji Normalitas

Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat titik-titik yang terbentuk mengikuti garis diagonal pada *normality plot*. memberikan gambaran bahwa data yang diperoleh peneliti dapat digunakan dalam proses uji regresi linier berganda.

b. Uji Autokorelasi

Uji autokorelasi ditempuh untuk melihat apakah data terganggu ketika dilakukan pengujian secara periodik (temporal) untuk kesalahan yang terjadi pada waktu ke-t dan waktu ke-t sebelumnya. Pengujian autokorelasi dalam penelitian ini menggunakan analisis autokorelasi durbin-watson diinterpretasi ketika hasil perhitungan berada pada interval dL -dU.

Tabel 4.2. Autokorelasi

Model Summary ^b					
Model	R	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson	
1	,485 ^a	0,235	94,24946	0,820	

a. Predictors: (Constant), Kec Angin (X3), Suhu (X1), CH (X2)

b. Dependent Variable: Produksi (Y)

Sumber: Olah Data Penelitian, 2022

Berdasarkan hasil pada tabel nilai perhitungan durbin-watson mendapatkan nilai 0,820. Hasil ini di padankan dengan nilai dL dan dU pada tabel dan menghasilkan nilai $dL - dU$ $0.6577 < 0,820 < 1.8640$ atau hasil perhitungan autokorelasi berada pada interval dL - dU yang dapat dikatakan tidak terdapat gejala autokorelasi.

c. Uji Koefisien Determinasi

Uji koefisien determinasi dilakukan untuk melihat seberapa besar sebuah variabel dapat menjelaskan variabel lain secara bersama-sama. Dalam penelitian ini variabel suhu, curah hujan, dan kecepatan angin diuji untuk melihat seberapa besar variabel-variabel ini menjelaskan jumlah produksi lahan garam. Hasil perhitungan koefisien determinasi dapat dilihat dari nilai *R Square* pada tabel.

Tabel 4.3. Koefisien Determinasi

Model Summary ^b					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,485 ^a	0,235	-0,052	94,24946	0,820

a. Predictors: (Constant), Kec Angin (X3), Suhu (X1), CH (X2)
b. Dependent Variable: Produksi (Y)

Sumber: Olah Data Penelitian, 2022

Berdasarkan tabel koefisien determinasi yang didapatkan sebesar 0,235. Nilai koefisien ini dapat diartikan bahwa variabel suhu, curah hujan, dan kecepatan angin secara simultan atau bersama sama dapat menjelaskan jumlah produksi lahan garam sebesar 23,5% atau dapat dikatakan bahwa variabel suhu, curah hujan, dan kecepatan angin tidak cukup baik untuk menjelaskan variabel jumlah produksi lahan garam.

d. Uji Koefisien Regresi Berganda

Uji koefisien regresi dilakukan untuk menguji asumsi awal penelitian dan melihat seberapa besar pengaruh variabel bebas (suhu, curah hujan, dan kecepatan angin) pada variabel terikat (jumlah produksi lahan garam). Uji regresi linier berganda, hasil yang didapatkan berupa pengaruh variabel bebas pada variabel

terikat secara simultan (bersama-sama) dan secara parsial (terpisah). Interpretasi data hasil perhitungan dapat dilihat dari nilai F hitung untuk pengaruh secara simultan dan thitung untuk pengaruh secara parsial, atau dapat melihat nilai Sig pada hasil yang didapatkan.

Tabel 4.4. Koefisien Regresi Berganda

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	21844,21	3	7281,404	0,82	,519^b
	Residual	71063,69	8	8882,962		
	Total	92907,90	11			

a. Dependent Variable: Produksi (Y)

b. Predictors: (Constant), Kec Angin (X3), Suhu (X1), CH (X2)

Berdasarkan tabel di atas nilai Sig yang didapatkan sebesar 0,519 dimana nilai ini lebih besar dari 0,05 atau $0,519 > 0,05$. Selain itu juga dapat melihat F hitung yang bernilai 0,820 dimana nilai ini lebih kecil dari nilai F tabel yaitu $0,820 < 1,86$. Hasil ini memberikan informasi bahwa variabel bebas berpengaruh tidak signifikan pada variabel secara bersama-sama (simultan).

Tabel 4.5. Koefisien

Coefficients ^a								
Model	Unstandardized Coefficients		Standar	t	Sig.	Correlations		
	B	Std. Error	dized Coefficients Beta			Zero-order	Partial	Part
(Constant)	419,733	501,809		0,279	0,787			
Suhu (X1)	-10,08	51,334	-0,075	-0,196	0,849	0,232	-0,069	-0,061
CH (X2)	-0,476	0,347	-0,53	-1,372	0,207	-0,479	-0,437	-0,424
Angin (X3)	-6,746	45,417	-0,047	-0,149	0,886	0,038	-0,052	-0,046

Pengaruh variabel bebas (suhu, curah hujan, dan kecepatan angin) pada variabel terikat (jumlah produksi lahan garam) secara terpisah atau parsial. Identifikasi dapat dilihat dari nilai sig dan t hitung. Variabel suhu memiliki nilai sig sebesar 0,849 dimana nilai sig ini lebih besar dari 0,05. Hasil ini memberikan gambaran bahwa variabel suhu tidak memiliki pengaruh pada produksi lahan garam secara parsial. Nilai sig variabel curah hujan sebesar 0,207 dimana nilai sig ini lebih besar dari 0,05. Hasil ini memberikan gambaran bahwa variabel curah hujan memiliki pengaruh tidak signifikan pada produksi lahan garam secara parsial. Variabel kecepatan angin mendapatkan nilai sig sebesar 0,885 dimana nilai sig ini lebih besar dari 0,05. Hasil ini memberikan gambaran bahwa variabel kecepatan angin memiliki pengaruh tidak signifikan pada produksi lahan garam secara parsial.

PERTANIAN GARAM

Pemanfaatan lahan garam di Kecamatan Kaliori, Kabupaten Rembang yang dilakukan secara optimal sepanjang musim kemarau.

1. Pemanfaatan Lahan Secara Konvensional

Proses produksi dan pengolahan garam bersifat konvensional mengandalkan kondisi cuaca dan iklim. Observasi dilakukan oleh peneliti dikroscek dengan penuturan petani responden, yaitu masih menggunakan cara- cara yang dilakukan pendahulunya hingga saat ini dirasa masih efisien dari segi modal dan peralatan yang digunakan.

Teknologi evaporasi bertingkat pada tambak dengan cara mengalirkan air laut sebagai *raw material* ke beberapa kolam dengan menggunakan kincir angin untuk memompa maupun penyesuaian sirkulasi air pada lahan yang topografi lebih tinggi dari saluran air, dan melalui ulir yang ada pada setiap kolam untuk peningkatan salinitas garam. Serta peralatan sederhana, antara lain seperti serokan kayu untuk meratakan garam pada saat proses pengkristalan.

Produksi garam memakan waktu kurang lebih 30 hari, namun waktu tersebut tidak menjadi patokan pasti karena proses

pembuatan garam secara konvensional masih harus melihat dari kondisi cuaca yang mempengaruhinya. Proses produksi garam secara konvensional yang dilakukan petani garam Kecamatan Kaliore melewati 3 tahapan.

- a. **Proses awal** air yang ditampung di kolam berasal dari laut yang dialirkan melalui saluran dan biasanya dipompa menggunakan kincir angin ataupun masuk lewat saluran air tanpa bantuan kincir angin. Pada kolam ini diendapkan sekira 6-7 hari, kedalaman kolam berkisar antara 1 sampai 1,5 meter.
- b. **Proses pemindahan ke kolam peminihan** berkedalam ± 30 cm, kolam digunakan untuk pemekatan air melalui proses evaporasi atau penguapan oleh sinar matahari.
- c. **Proses pemindahan ke meja kristalisasi**, pembuatan garam dibuat petak-petak lahan ukuran kecil dan memiliki kedalaman antara 10-15 cm. Air didiamkan selama 2-3 hari hingga air mengalami pengkristalan.



Gambar 4.3. Serokan Kayu Untuk Meratakan Air Agar Evaporasi Merata

Sumber: Data Primer, 2022

Petani memanfaatkan serokan untuk meratakan air di atas kolam hingga evaporasi merata. Pembuatan garam membutuhkan waktu relatif lama dalam proses pengkristalan. Abdullah & Susandini,

(2018) air yang cepat susut karena terserap ke dalam pori-pori tanah, menghasilkan garam yang kurang bersih karena bercampur bersama tanah saat pemanenan.

Metode konvensional di lokasi penelitian (2022) masih berlangsung, sejalan sebagaimana dikemukakan oleh Mahendra (2018) memerinci dalam 8 tahap: saluran air muda, kolam penampungan air muda, kolam peminihan 1, kolam peminihan 2, kolam peminihan 3, kolam peminihan 4, meja kristalisasi.

Tabel 4.6. Proses Pembuatan Garam Konvensional

Taha p	Jenis Kolam	Kedalaman	% Luasa		Waktu/ hari
			n	Kepekata n	
1	Air muda	100 cm	25	7 Be	7-10
	Peminihan 1	40 cm	10	10 Be	2-4
	Peminihan 2	30 cm	10	14 Be	2-4
2	Peminihan 3	20 cm	10	18 Be	2-4
	Peminihan 4	10 cm	10	20 Be	2-4
3	Meja Kristalisasi	5 cm	35	20 Be	5-10

Sumber: Mahendra, 2018; Analisis Data Primer, 2022

Estimasi waktu proses pembuatan garam melalui beberapa tahapan di masing-masing kolam dibiarkan saja hingga mengalami proses pemekatan sendiri. Teknologi konvensional pemanfaatan lahan mengandalkan alas tanah pada setiap lahan garam tanpa bantuan alat apapun untuk proses pemanenan sehingga pada teknologi ini pada saat proses pengkristalan dan pemanenan garam bercampur dengan tanah.

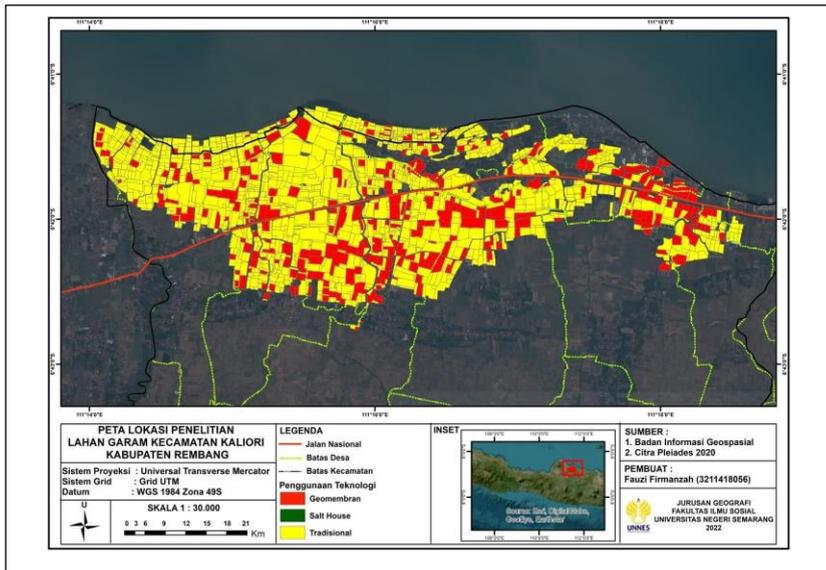
2. Pemanfaatan Lahan Pola Integrasi Menggunakan Teknologi

Pemanfaatan lahan menggunakan teknologi *geomembrane* pada kolam kristalisasi yang alasnya diberi plastik (membran) sehingga proses pengkristalan tidak beralaskan dengan tanah. Proses pada teknologi ini mengandalkan sinar matahari sebagai sumber utama dalam proses pengkristalan.



Gambar 4.4. Penggunaan Geomembran
Sumber: Data Primer, 2022

Petani memanfaatkan teknologi geomembran sebagian besar menggunakan pola lahan integrasi, pada pola lahan ini beberapa petani melebur menjadi satu kelompok untuk menggabungkan lahannya sehingga hasil dari produksi dibagi merata tergantung luasan dari setiap petani yang tergabung dalam kelompok. Teknologi geomembran juga dimanfaatkan oleh petani yang memiliki modal untuk meningkatkan kualitas produksi garam sehingga harga jual garam lebih tinggi.



Gambar 4.5. Peta Penggunaan Teknologi Pada Lahan Garam

Identifikasi peta lahan garam menggunakan teknologi geomembran yang dicirikan dengan pewarnaan merah, teknologi *salt house* yang dicirikan dengan pewarnaan hijau, dan teknologi konvensional yang dicirikan dengan pewarnaan kuning. Terdapat lahan garam di Kecamatan Kaliori yang melewati jalan besar pantura atau jalan provinsi, hal tersebut menjadi keunikan sendiri karena jarak antara laut dan lahan garam tersebut tergolong jauh. Ketinggian wilayah Kecamatan Kaliori berkisar antara 0- 7 mdpl, dengan kategori ketinggian air laut 0 mdpl, ketinggian pesisir berkisar antara 2-7 mdpl, serta lahan yang melewati jalan pantura berkisar antara 4-7 mdpl. Berdasarkan ketinggian tersebut dapat di analisis proses pemindahan air laut menuju pada petakan garam melalui sungai seiring waktu pasang air laut, menggunakan pompa, dan ataupun kincir angin.

3. Pola dan Jenis Lahan Garam

Pola produksi lahan garam Kecamatan Kaliori terdefinisi menjadi 2 kategori yaitu pola lahan integrasi dan pola lahan non integrasi.

- a. *Pola lahan integrasi* luasan minimal 15 ha. Desain untuk memahami pola dan struktur tambak, dimana kolam air muda harus dekat dalam mendapatkan pasokan air laut dari saluran. Lahan dibagi dalam beberapa petakan, berupa: 11% kolam air muda, 4% saluran, 60% sebaga kolam peminihan, 15% meja kristalisasi, dan 10% kolam penampungan.



Gambar 4.6. Lokasi Lahan Integrasi Di Kecamatan Kaliori
Sumber: Data Primer, 2022

- b. *Pola lahan non integrasi* merupakan pola pemanfaatan lahan konvensional yang digunakan sepanjang tahun. Jenis lahan diklasifikasikan meliputi 3, yaitu: mina garam, garam musiman, dan garam murni.

Mina garam merupakan optimalisasi penggunaan lahan bukan hanya garam saja. Pada saat musim hujan lahan dimanfaatkan sebagai tambak udang ataupun bandeng. Penggabungan lahan alam variasi produksi juga dilakukan petani yaitu dengan memanfaatkan kolam air muda sekaligus sebagai tambak bandeng di waktu yang bersamaan. Lahan musiman pemanfaatannya tidak menentu, bisa saja di satu musim lahan tersebut digunakan sebagai ladang garam, tambak udang, tambak bandeng. Jenis lahan dengan

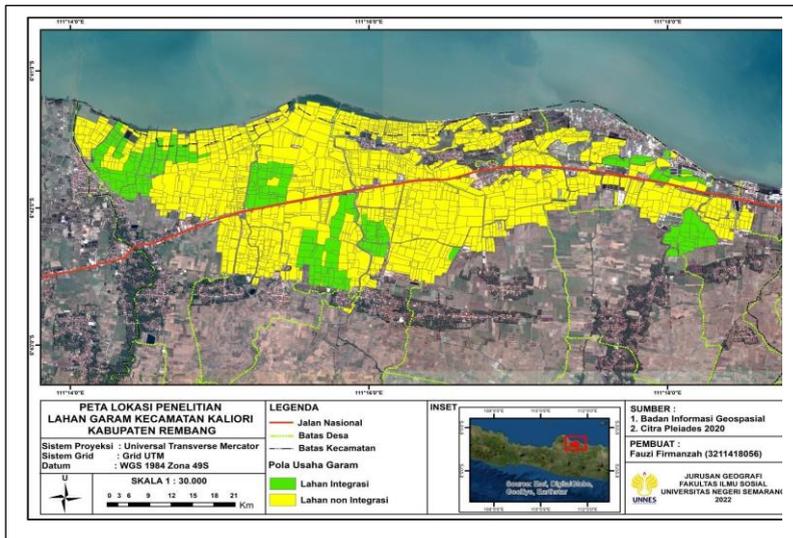
klasifikasi lahan garam murni merupakan lahan yang sepanjang tahunnya hanya digunakan sebagai lahan garam, sedangkan di musim penghujan lahan tersebut dibiarkan begitu saja.

Tabel 4.7. Luas Lahan Garam

Desa	Lahan Integrasi				Non	Total
	2017	2018	2019	2020	Integrasi	
Tunggulsari			22,8		20,3	43,1
Tambakagung		15	20		38,12	73,12
Mojowarno		37	28,6		96,61	162,21
Dresi Kulon		36	51	15,7	201,07	303,77
Dresi Wetan					120,92	120,92
Tasikharjo					48,21	48,21
Purworejo	17,61	19	15,2		66,94	118,75
Karangsekar					17,23	17,23
Bogoharjo					13,51	13,51
Banyudono		25			8,63	33,63
Total	17,61	132	137,6	15,7	631,54	934,45

Sumber: Olah Data Penelitian, 2022

Perubahan pemanfaatan lahan tergantung kepada faktor petani, kondisi cuaca, hingga harga garam. Perubahan pola lahan integrasi juga dipengaruhi berdasarkan keputusan kelompok garam yang tergabung dalam integrasi lahan apakah akan memperpanjang kontrak dalam jangka waktu 5 tahun kedepan atau memilih untuk menjadi lahan non integrasi.



Gambar 4.7. Peta Pola Usaha Garam

Persebaran informasi pola usaha meliputi 2 aspek diantaranya lahan integrasi dan lahan non integrasi. Pola lahan integrasi digambarkan dengan warna hijau dan pola lahan non integrasi digambarkan dengan warna kuning. Persebaran pola lahan integrasi dilihat dari kenampakan peta dapat diidentifikasi bahwasannya pola tersebut dicirikan dengan pengelompokan beberapa lahan yang menjadi satu kesatuan. Sedangkan pola lahan non integrasi dilihat dari kenampakan peta dapat diidentifikasi dengan ciri persebaran yang hampir merata dan kurang lebih terdapat 85% dari keseluruhan lahan garam yang berada di wilayah Kabupaten Rembang.

4. Pasca Produksi Garam dan Pemasaran

Hasil pemetaan di lapangan diketahui terdapat mata rantai beberapa kriteria pelaku usaha, yaitu tengkulak, petani pemilik lahan, penggarap, buruh angkut. Pasca produksi yakni pemanenan dan pemasaran membuka lapangan kerja sebagai pengumpulan, pengangkutan, pengemasan, dan penjualan.

Pengumpulan di meja kristalisasi dari awal pemanenan sepanjang musim kemarau. Pengangkutan menuju Gudang penyimpanan, oleh buruh angkut. Pengemasan, menggunakan karung-karung dengan berat antara 40-60 kg. Biasanya karung tersebut diberikan oleh pengepul ataupun dengan modal sendiri. Penimbangan yang dilakukan oleh petani bersama pengepul menggunakan timbangan konvensional dan sistem tebas. Timbangan konvensional dilakukan petani dengan hitungan per karung dan dilakukan untuk pembeli skala kecil hingga sedang. Proses pada timbangan tebas dilakukan dengan sistem perkiraan sesuai dengan berat karung yang ada dengan hitungan per karung. Penentuan harga perkiraan berdasarkan sampel garam dari karung yang paling berat dan karung yang paling ringan sehingga mendapatkan rata-rata untuk dijadikan timbangan tebas.

Proses jual beli dilakukan sortasi dan penentuan grading pada garam untuk mendapatkan kesepakatan, karena mereka hanya mampu mendiferensiasi kualitas garam menggunakan mata telanjang ataupun cara konvensional tanpa melalui pengujian, hal tersebut dilakukan melalui analisis dengan melihat dan meraba melalui butiran-butiran garam. Garam yang telah dilakukan proses disortasi kemudian ditentukan harganya oleh pengepul bersama petani, dikategorikan menjadi K1, K2, K3 dan harga ditentukan berdasarkan harga berlaku. Grading dan sortasi memiliki penanggungungan resiko yang besar terhadap petani jika terjadi penurunan harga pasar (Penyuluh dari Dinas Kelautan dan Perikanan, 2022). Petani merupakan produsen yang tidak dapat menentukan harga, menanggung resiko pembayaran belakang, dan resiko taksiran kualitas rendah dari pabrik.

KARAKTERISTIK PETANI GARAM

Karakteristik penduduk khususnya petani garam, aspek sosial, ekonomi, dan budaya memberikan pemahaman berupa kondisi nyata masyarakat untuk memudahkan peneliti dalam menganalisis dan memberikan deskripsi berdasarkan data dan studi lapangan yang dilakukan.

1. Aktivitas Petani Garam

Kecamatan Kaliori merupakan wilayah pesisir sehingga sektor perikanan dan kelautan merupakan sektor unggulan sebagai mata pencaharian masyarakat terutama dalam sektor produksi garam. Kemudahan akses menjangkau laut serta topografi mendukung produksi garam rakyat yang umumnya dikelola skala kecil berbasis rumah tangga dengan melibatkan sanak saudaranya. Pembuatan atau produksi garam yang mengandalkan kondisi cuaca di musim kemarau mulai awal bulan Juli - Akhir bulan November. Pemanenan garam yang memakan waktu dari awal proses pengambilan bahan baku hingga terciptanya produk garam memakan waktu kurang lebih 30 hari.

Lahan garam terbagi atas 2 kategori sebagai lahan integrasi dan lahan non integrasi. Perbedaan pemanfaatan lahan tersebut hanya ada pada individu sebagai petani secara individu yang mengelola lahan sendiri yang disebut lahan non integrasi yang hasil dari pemanenan garam tidak dibagikan dengan siapapun. Sedangkan petani yang bergabung menjadi anggota kelompok tani mengolah/mengelola lahan integrasi. Penerapan pola lahan secara integrasi ataupun non integrasi bergantung pada petani yang memiliki lahan.

Petani warga local menguasai 65% lahan garam, 35% kepemilikan masyarakat di luar Kecamatan Kaliori. Faktor modal, kebutuhan serta perubahan mata pencaharian menyebabkan banyak masyarakat yang menjual lahannya. Petani garam yang tidak memiliki lahan memilih untuk memanfaatkan lahan milik orang lain dengan sistem bagi hasil, hal tersebut dilakukan untuk dapat pemasukan diluar pekerjaan utamanya.

2. Kondisi Sosial, Ekonomi, dan Budaya Masyarakat

Kondisi sosial ekonomi merupakan keadaan masyarakat secara individu yang dilihat dari faktor sosial dan faktor ekonomi. Kondisi sosial mengenai petani garam dianalisis dari aspek pendidikan, aspek pekerjaan, dan aspek pendapatan. Petani garam yang turun temurun merupakan pewarisan budaya memanfaatkan sumberdaya alam berupa air laut yang diolah menjadi garam.

Pekerjaan sebagai petani garam dengan mengandalkan produksi panen garam untuk kebutuhan sehari-hari tidak dapat selalu diandalkan. Tingkat pendidikan yang rendah mempengaruhi pekerjaan terutama dalam hal kurang penguasaan teknologi, berdampak pada pendapatan yang dihasilkan.

Struktur umur petani garam rakyat antara 40-56 tahun dengan tingkat pendidikan rata-rata hanya sampai jenjang Sekolah Dasar. Pendapatan petani juga dipengaruhi oleh besar kecilnya kepemilikan lahan, dimana semakin kecil lahan yang dimiliki semakin kecil pula hasil produksi dan pendapatan yang diperoleh. Mereka hanya memfokuskan bekerja sebagai petani garam pada periode Juli - November. Proses penjualan hasil panen garam yang tidak menentu menyebabkan petani memilih untuk memiliki pekerjaan sampingan, hal itu juga diperkuat dengan banyaknya garam yang tertimbun di gudang dalam kurun waktu beberapa tahun sehingga kapasitas gudang sudah tidak sanggup lagi untuk menampung hasil panen. Pekerjaan sampingan yang diambil bervariasi mulai dari buruh harian lepas, kuli bangunan, tukang kayu, berkebun, dsb.

Aspek sosial dan ekonomi lain dari adanya proses produksi garam yaitu modal. Masyarakat pesisir yang termasuk kedalam kategori menengah memanfaatkan koperasi sebagai modal awal untuk melakukan proses produksi. Petani meminjamkan kepada koperasi Garam sebagai modal, membeli alat/mesin serta mencukupi kebutuhan sehari-hari. Harga garam yang relatif murah serta modal dalam pembelian alat produksi dan pengangkutan garam menyebabkan petani mendapatkan keuntungan yang sedikit sehingga pendapatan hanya untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, hal tersebut terus berlanjut untuk setiap tahunnya. Kekurangan modal berpengaruh terhadap penggunaan teknologi misalnya penggunaan geomembrane yang sulit direalisasikan.

Permasalahan permodalan juga dirasakan oleh petani yang tergabung kedalam kelompok geomembran, dimana pada kelompok tersebut petani dihadapkan dengan modal besar dalam melakukan proses integrasi lahan, sehingga sebagian besar petani

melakukan proses pinjaman terhadap koperasi. Petani merasakan hasil yang maksimal saat harga garam menyentuh harga Rp1500-Rp2000 per kg pada tahun 2018, namun hal tersebut hanya berjalan 1-5 tahun sebelum kebijakan tentang impor garam kembali berubah. Harga garam di Kabupaten Rembang didistribusikan pada tabel berikut.

Tabel 4.8. Harga Garam Kabupaten Rembang

No	Kecamatan	Harga Garam		
		2018	2019	2020
1	Sarang	Rp. 1.500	Rp. 350	Rp. 360
2	Kaliori	Rp. 1.500	Rp. 350	Rp. 350
3	Remban	Rp. 1.450	Rp. 325	Rp. 350
4	Sluke	Rp. 1.400	Rp. 325	Rp. 340
5	Lasem	Rp. 1.450	Rp. 350	Rp. 350

Sumber: Olah Data Penelitian, 2022

Berdasarkan tabel di atas terdapat perbedaan yang signifikan tentang harga garam di Tahun 2018 dan Tahun 2021, dimana harga garam di tahun 2018 menyentuh dengan harga eceran tertinggi ;pada angka Rp1300 - Rp1500/kg. Namun harga tersebut tidak berselang lama. Harga tersebut dipengaruhi oleh kebijakan pemerintah yang memberhentikan laju impor garam dari luar negeri, sehingga industri di dalam negeri memaksimalkan hasil produksi garam masyarakat dengan peningkatan harga yang signifikan dan berimplikasi pada kesejahteraan petani garam (Penyuluh Perikanan Kabupaten Rembang, 2022). Kebijakan tersebut telah berubah di tahun 2020, pemberlakuan impor garam kembali terjadi dan menyebabkan penimbunan garam milik petani lokal dan penurunan harga garam karena pasokan garam di dalam negeri melimpah.

Faktor budaya yang melekat pada pertanian garam yaitu tentang bagaimana petani memanfaatkan lahan untuk diproduksi. Petani garam di Kecamatan Kaliori dibedakan dengan beberapa karakteristik diantaranya 1) pemilik lahan yang tidak mengusahakan garamnya secara mandiri, lahan diserahkan

kepada masyarakat sekitar untuk digarap, 2) pemilik lahan yang sekaligus menggarap lahannya dengan bantuan beberapa tenaga kerja dilihat dari luasan lahan yang dimiliki, 3) murni penggarap yang hanya memiliki keterampilan tanpa kepemilikan lahan sehingga mereka memanfaatkan lahan orang lain untuk digarap.

Menurut informasi responden bahwa sekira 65% wilayah yang digunakan merupakan kepemilikan orang luar Kecamatan Kaliore atau bahkan di luar Kabupaten Rembang. Hal itu disebabkan kurangnya modal masyarakat setempat dalam mengakuisisi lahan sehingga kebanyakan lahan dibeli dan dipergunakan sebagai produksi garam maupun bandeng. Kategori yang termasuk kedalam pemilik lahan sekaligus penggarap adalah mereka yang memiliki luasan lahan garam yang tergolong sempit yaitu kurang dari <1 Ha. Kategori yang kedua merupakan pemilik lahan namun mereka memasrahkan lahannya untuk digarap oleh masyarakat setempat yang memang memiliki kemampuan dalam memproduksi garam ataupun usaha tambak lainnya, hal tersebut tidak terlepas dari persentase bagi hasil antara pemilik dan penggarap lahan. Kategori yang ketiga yaitu pemilik lahan yang lebih memilih untuk menyewakan lahan dan dipergunakan orang lain untuk memproduksi hasil tambak.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat diambil kesimpulan bahwa cuaca yang meliputi kecepatan angin, curah hujan, dan suhu berpengaruh tidak signifikan terhadap produksi garam ataupun kualitas garam. Hasil tersebut memberikan gambaran bahwasannya secara parsial dari ketiga faktor tersebut memberikan pengaruh tidak signifikan terhadap produksi dan kualitas produksi garam. Penelitian tersebut memberikan gambaran tentang pengaruh lain di luar variabel yang ditentukan peneliti terhadap produksi garam. Faktor lain yang mempengaruhi produksi garam dan kualitasnya adalah luasan lahan, pengetahuan, dan penggunaan teknologi.

Kondisi pertanian pada penelitian ini memberikan pengaruh terhadap besaran produksi dan kualitas produksi garam

di Kecamatan Kaliori. Hal tersebut didapatkan. Hal tersebut dibuktikan dengan hasil wawancara dan observasi lapangan dengan hasil analisis bahwa teknologi, pola usaha, jenis lahan, teknologi, dan metode dapat mempengaruhi hasil produksi dan kualitasnya. Hasil penelitian diperoleh dimana perbandingan pemanfaatan lahan integrasi di tahun 2021 dengan luas lahan sebesar 292,91 ha yang memproduksi garam dengan total keseluruhan 808 ton dan masuk kedalam kelas K1 yang merupakan kelas garam terbaik.

Lahan non integrasi dari total luas lahan 631,54 menghasilkan produksi garam yang termasuk K1 241 ton dan K2 884 ton serta pemanfaatan teknologi geomembran di keseluruhan lahan integrasi dan sebagian kecil lahan non integrasi. Penentuan besaran produksi jugadipengaruhi oleh pola usaha yang secara keseluruhan di wilayah Kecamatan Kaliori menggunakan pemanfaatan lahan mina garam, sehingga produktivitas garam dimanfaatkan secara maksimal saat memasuki puncak produksi di bulan Juli hingga November. Secara signifikan dan bersama-sama dari teknologi,pola usaha, hingga jenis lahan memberikan pengaruh terhadap besaran produksi dan kualitas produksi garam Kecamatan Kaliori di tahun 2021.

Berdasarkan pemetaan yang telah dilakukan di Kecamatan Kaliori Kabupaten Rembang bahwa secara keseluruhan memanfaatkan jenis lahan mina garam yaitu perpaduan produksi garam dan hasil laut lainnya. Pola usaha dari hasil pemetaan menghasilkan sekitar 302,91 ha yang terkonfirmasi sebagai lahan integrasi dengan pola persebaran lahan integrasi mengelompok dan 631,53 ha lainnya memanfaatkan lahannya secara non integrasi/konvensional. Penggunaan teknologi berdasarkan peta menghasilkan sebagian lahan berteknologi geomembran dengan mayoritas merupakan konvensional, teknologi geomembran berdasarkan kenampakan sebagian besar merupakan wilayah lahan integrasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Z.A., & Susandini, A., 2018. Media Produksi (Geomembrane) Dapat Meningkatkan Kualitas Dan Harga Jual Garam (Study Kasus : Ladang Garam Milik Rakyat Di Wilayah Madura). *Eco-Entrepreneurship*, 3(2), pp.21– 36.
- Adiraga, Y., 2013. Analisis Dampak Perubahan Curah Hujan, Luas Tambak Garam, dan Jumlah Petani Garam Terhadap Produksi Usaha Garam Rakyat Di Kec. Juwana Kab. Pati. *Diponegoro Journal of Economics*, 3(1), pp.1–13.
- Arwiyah., 2015. Studi Kandungan NaCl di Dalam Air Baku dan Garam yang Media Meja Garam yang Berbeda Dihasilkan Serta Produktivitas Lahan Garam Menggunakan Media Meja Garam yang Berbeda. *Jurnal Kelautan*, 8(1), pp.1–9.
- Badan Pusat Statistik Kab Rembang., 2021. *Kabupaten Rembang dalam Angka*.
- Hoiriyah, Y.U., 2019. Peningkatan Kualitas Produksi Garam Menggunakan Teknologi Geomembran. *Jurnal Studi Manajemen Dan Bisnis*, 6(2), pp.71–76.
- Iswanto, D., 2019. Faktor-Faktor Yang Memengaruhi Produktivitas Lahan Garam Di Indonesia 2015. *Jurnal Segara*, 15(3), pp.139–146.
- Khamid-Baekhaki, D., 2015. *Korporatisasi Garam Rakyat: Dinamika Transisi Sosial, Ekonomi dan Ekologi Petambak Garam*.
- Mahendra., 2018. *Program Studi Akuakultur Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Tahun Ajaran 2017/2018*.
- Safrida, A.I., & Fajri., 2021. Dampak Impor Garam Terhadap Produksi Dan Harga Garam Domestik Di Indonesia. *Jurnal Bisnis Tani*, 7(1), pp.25–36.
- Suryati, S., Jalil, F., & Budi, S., 2016. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Produksi Garam Di Desa Matang Tunong. *Agrifo : Jurnal Agribisnis Universitas Malikussaleh*, 1(1), pp.73.

BAB V. SPIRULINA SEBAGAI SUPER FOOD

**Andin Vita Amalia^{1*)}, Amnan Haris¹⁾, Falasifah²⁾,
Abdul Jabbar¹⁾, Rifa'atunnisa¹⁾, Erna Noor Savitri¹⁾**

¹⁾Jurusan IPA Terpadu, Fakultas Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Kota
Semarang, Indonesia

²⁾PT Alga Bioteknologi Indonesia, Semarang City, Indonesia

Corresponding Author: *andinvita@mail.unnes.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.15294/ka.v1i2.142>

ABSTRAK

Penggunaan spirulina sebagai sumber pangan baru terbaru digadag-gadag menjadi solusi yang inovatif, ekonomis dan berkelanjutan. Namun demikian, belum ditemukan formula kultur spirulina yang dapat meningkatkan laju pertumbuhan spesifik dan hasil panen biomassa untuk menekan biaya produksi dan energi listrik yang dibutuhkan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pertumbuhan dan produksi biomassa setelah diberi perlakuan variasi hormon pertumbuhan. Tahapan penelitian diantaranya kultur mikroalga dan analisis yang meliputi analisis laju pertumbuhan spesifik, waktu penggandaan dan produktivitas biomassa. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan pengambilan data secara kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hormon auksin dan stikonin mampu memacu pertumbuhan spirulina, namun menurunkan kandungan proteinnya.

Kata kunci: Biomass, Protein, Spirulina platenses

PENDAHULUAN

Indonesia menghadapi tantangan berat untuk memastikan kecukupan gizi bagi anak-anak dan perempuan (Soni *et al.*, 2019). Perubahan musim yang sulit diprediksi dan minimnya pengetahuan petani terkait mitigasi perubahan cuaca menyebabkan banjir atau kemarau panjang yang tidak tertangani

dengan baik. Akibatnya kasus kegagalan panen masih sering terjadi. Hal ini diperparah dengan adanya Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) seperti hama, gulma dan penyakit tanaman (Heong *et al.*, 2021). Seperti yang terjadi pada Bulan Februari 2022 di beberapa kabupaten di Jawa Tengah seperti Pati, Kudus, Grobogan, Tegal dan Klaten. Maka dari itu, diperlukan alternatif solusi pangan bergizi tinggi yang dapat disediakan dalam waktu singkat dan harganya terjangkau (F. Jung *et al.*, 2019).

KONDISI UMUM

Ekosistem perairan bisa dijumpai mulai dari sumber mata air sampai dengan laut. Berdasarkan salinitasnya, perairan dapat dibedakan menjadi air tawar, payau dan asin (Astuti, Jamali and Amin, 2007). Air tawar bisa ditemukan mulai dari sumber mata air sampai muara sungai. Biasanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga, irigasi dan industri. Air payau banyak ditemukan di daerah muara. Biasanya digunakan untuk budidaya seperti bandeng. Air asin terdapat di lautan lepas atau samudra. Salah satu makhluk hidup yang bisa ditemukan di seluruh ekosistem perairan adalah mikroalga. Mikroalga memegang peranan penting yakni sebagai produsen (Sjollema *et al.*, 2016). Selain itu, berbagai penelitian membuktikan bahwa mikroalga juga berpotensi sebagai organisme yang mereduksi limbah (reduksen). Hal ini karena mikroalga mampu menyerap zat-zat kimia yang terkandung dalam limbah sebagai nutrisi untuk pertumbuhannya (Christenson and Sims, 2011). Salah satu jenis mikroalga adalah *Spirulina* yang sering digunakan dalam industri makanan, kosmetik dan obat (Jung *et al.*, 2019).

Kultur *Spirulina* bisa dilakukan pada ekosistem perairan (Borowitzka, 2018). Selama kultivasi, kondisi lingkungannya harus selalu dijaga supaya tidak melampaui faktor pembatas tumbuh, yang meliputi intensitas cahaya, temperatur, nutrisi, oksigen terlarut, karbon dioksida, pH, salinitas, dan pengadukan (Hadiyanto dan Azim, 2012). Faktor tersebut bisa dimanipulasi untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas dari *Spirulina* yang dikultur. Salah satu faktor yang berpengaruh adalah salinitas.

Salinitas akan mempengaruhi osmoregulasi yang berdampak pada aktivitas fotosintesis, hingga akhirnya mempengaruhi kadar biomassa yang dihasilkan (Widianingsih *et al.*, 2015).

MIKROALGA

Mikroalga merupakan sejenis makhluk hidup bersel satu (uniseluler) yang tinggal di air, mulai air tawar sampai air laut. Mikroalga tidak mempunyai akar, batang dan daun. Namun mempunyai pigmen klorofil (hijau), fikosantin (coklat), fikoeritrin (merah), fikosianin (biru) dan karotenoid (oranye). Mikroalga dikenal juga dengan istilah fitoplankton karena mempunyai kemiripan dengan tumbuhan tingkat tinggi. Kemiripan tersebut adalah kemampuan mikroalga untuk berfotosintesis (autotrof), sehingga mikroalga berperan sebagai produsen dalam jaring-jaring makanan di lingkungan perairan. Karena kemampuannya tersebut, mikroalga banyak dimanfaatkan sebagai biofuel, pangan dan biomaterial (Christi, 2007 dalam Hadiyanto and Azim, 2012).

Mikroalga mampu mengubah energi cahaya dan karbon dioksida (CO₂) menjadi oksigen dan biomassa seperti karbohidrat dan lipid. Mikroalga mempunyai kemampuan mengubah energi matahari dan karbon dioksida (CO₂) menjadi biomassa secara lebih efisien dibandingkan tumbuhan tingkat tinggi karena memiliki struktur seluler yang lebih sederhana. Salah satu sumber karbon bisa diperoleh dari styrofoam. Kemampuan mikroalga untuk mengurangi karbondioksida, menjadikannya sebagai solusi pencegahan pemanasan global (Harun *et al.*, 2010).

Mikroalga membutuhkan nutrisi untuk mendukung pertumbuhannya. Nutrisi ini terdiri dari komponen makronutrien dan mikronutrien. Komponen makronutrien adalah nutrisi yang dibutuhkan dalam jumlah besar, contohnya yaitu karbon (C), Nitrogen (N), dan Fosfor (P). Selain itu, Hidrogen (H) dan Oksigen (O) juga penting untuk pertumbuhan mikroalga. Sedangkan komponen mikronutrien adalah nutrisi yang dibutuhkan dalam jumlah sedikit namun berkelanjutan, contohnya yaitu Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), Sodium (Na), Kalium (K), Besi (Fe), Mangan (Mn), Belerang (S), Seng (Zn), Tembaga (Cu) dan Kobalt (Co). Selain itu,

faktor lingkungan seperti pH, salinitas, temperatur dan intensitas cahaya juga turut mendukung pertumbuhan mikroalga (Raja *et al.*, 2014). Mikroalga memiliki jenis yang beragam. Menurut Hadiyanto and Azim (2012), jumlah mikroalga di alam diperkirakan mencapai 800.000 jenis. Namun jumlah yang teridentifikasi baru sekitar 35.000 dan baru beberapa jenis yang dikultivasi dalam skala besar. Salah satu jenis mikroalga yang banyak dikultivasi adalah *Spirulina*.

SPIRULINA

Menurut Gomon (1892) dalam Guiry (2016), klasifikasi dari *Spirulina* adalah sebagai berikut :

Kingdom	: Eubacteria
Filum	: Cyanobacteria
Kelas	: Cyanophyceae
Ordo	: Oscillatoriales
Famili	: Microcoleaceae
Genus	: <i>Arthrospira</i>
Spesies	: <i>Arthrospira platensis</i>



Gambar 5.1. *Arthrospira platensis* (Hadiyanto dan Azim, 2012)

Spirulina berwarna hijau kebiruan, mempunyai bentuk

tubuh benang (*filament*) berpilin menyerupai spiral (*helix*), tidak bercabang, berukuran 1-12 mikrometer, biasanya hidup berkoloni. Aktif bergerak (*motil*) dengan merotasikan tubuhnya. Habitatnya di air tawar, biasanya di perairan yang belum tercemar (Hariyati, 2008). Beberapa spesies menyukai mata air panas, sulfur, perairan payau dan pesisir laut. *Spirulina* berkembang biak secara vegetatif yaitu dengan cara fragmentasi atau membelah diri secara bersilangan, tegak lurus terhadap sumbu trikoma (Guiry, 2016).

Spirulina sudah banyak digunakan sebagai pakan alami / protein sel tunggal karena mengandung nutrisi yang tinggi. Kandungan protein pada *Spirulina* adalah 60-70%. Kandungan proteinnya bahkan lebih tinggi dari daging, ikan, telur dan kedelai (Hadiyanto dan Azim, 2012), sedangkan kandungan lemaknya cukup rendah 1,5-12%. Selain digunakan sebagai pakan alami, *Spirulina* juga banyak digunakan sebagai bahan kosmetik, obat-obatan dan pewarna alami (Buwono and Nurhasanah, 2018).

Manfaat *Spirulina* yang sangat beragam menjadikannya sangat berpotensi untuk dikembangkan. Menurut Hutabarat dan Herawati (2014), tujuan kultur mikroalga adalah untuk mendapatkan stok yang melimpah dengan kandungan nutrisi yang optimal. Kultur mikroalga dapat dilakukan dalam tahap skala laboratorium, semi massal dan skala komersial. Kultur skala laboratorium dilakukan untuk pembibitan, sehingga harus steril. Selain itu faktor lingkungan seperti pH, temperatur, intensitas cahaya dan nutrien dijaga tetap stabil. Skala semi massal dilakukan untuk mempersiapkan kultur mikroalga secara komersial. Kultur komersial dilakukan untuk meningkatkan biomassa. sehingga diharapkan mendapatkan panen *Spirulina* lebih besar. Waktu pemanenan juga harus menunggu puncak pertumbuhan populasi, sehingga biomassa yang dipanen bisa optimal (Hadiyanto dan Azim, 2012).

FAKTOR PEMBATAS TUMBUH MIKROALGA

Pertumbuhan mikroalga dipengaruhi oleh banyak faktor. Menurut (Hadiyanto dan Azim, 2012), faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroalga meliputi intensitas

cahaya, temperatur, nutrien, aerasi dan oksigen terlarut, pH, salinitas dan pengadukan. Faktor-faktor tersebut berpengaruh terhadap jumlah biomassa dan produk yang dihasilkan.

E.1. Intensitas Cahaya

Cahaya merupakan salah satu faktor penting dalam pertumbuhan mikroalga karena berperan dalam fotosintesis. Intensitas cahaya sangat menentukan pertumbuhan mikroalga jika dilihat dari durasi penyinaran dan panjang gelombang yang digunakan. Menurut Belay (2013), aktivitas fotosintesis akan meningkat seiring meningkatnya intensitas cahaya yang digunakan. Kebutuhan cahaya juga sangat tergantung pada kedalaman dan kepadatannya. Sumber energi yang didapat dari cahaya akan digunakan mikroalga untuk menghasilkan karbon organik sehingga menentukan kadar biomassa. Intensitas cahaya 1000 lux merupakan intensitas cahaya optimum untuk pertumbuhan mikroalga di dalam Erlenmeyer, sedangkan intensitas cahaya 5000-10000 lux optimum untuk volume kultur yang lebih besar. Selain itu, pencahayaan yang cukup juga berperan menjaga temperatur media supaya tetap berada pada kisaran optimum pertumbuhan mikroalga, terutama pada malam hari

E.2. Temperatur

Temperatur merupakan salah satu faktor penting dalam pertumbuhan mikroalga. Perubahan temperatur berpengaruh terhadap proses fisika, kimia dan biologi. Perubahan temperatur juga berpengaruh pada tingkat kelarutan suatu bahan, mempengaruhi kecepatan metabolisme dan respirasi mikroalga. Temperatur yang dibutuhkan oleh sebagian besar mikroalga adalah pada kisaran 15-40 °C. Sedangkan temperatur optimum untuk pertumbuhannya yaitu pada 24-26 °C. Temperatur optimum mampu meningkatkan *growth rate* mikroalga. Temperatur di bawah 16 °C menyebabkan pertumbuhan mikroalga turun, sedangkan temperatur di atas 35°C menyebabkan kematian atau lisis (pecah) pada jenis tertentu.

E.3. Nutrien

Nutrien dibutuhkan oleh mikroalga untuk mendukung pertumbuhannya. Kebutuhan nutrien juga ditentukan oleh habitat mikroalga: air tawar, payau, air laut. Nutrien yang dibutuhkan terdiri dari makronutrien dan mikronutrien. Unsur makronutrien antara lain C, H, N, P, K, S, Mg, dan Ca. Makronutrien digunakan untuk pertumbuhan sel dan metabolisme. Mikronutrien yang dibutuhkan antara lain Fe, Cu, Mn, Zn, Co, Mo, Bo, Vn, dan Si. Mikronutrien dibutuhkan dalam jumlah sedikit, namun fungsinya tidak bisa digantikan oleh unsur lain.

Unsur nitrogen (N) dan fosfor (P) merupakan nutrient penting yang dibutuhkan mikroalga untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Unsur-unsur tersebut ada dalam bentuk nitrat (NO_3^-) dan fosfat (PO_4^{3-}). Nitrat adalah bentuk utama nitrogen di perairan alami. Senyawa ini dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di dalam perairan. Nitrat sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil. Fosfat seringkali dijumpai dalam bentuk terikat dengan unsur lain, terdapat pada batu karang atau endapan di dasar lautan.

E.4. Aerasi dan Oksigen Terlarut

Aerasi pada saat kultivasi bertujuan agar tidak terjadi pengendapan sehingga semua sel mikroalga memperoleh cahaya, udara dan nutrisi yang sama. Aerasi mengandung karbon dalam bentuk karbon dioksida (CO_2) yang digunakan untuk berfotosintesis. CO_2 yang masuk ke media kultur akan berubah bentuk menjadi asam karbonat (HCO_3). Gas CO_2 dalam air dipengaruhi oleh derajat keasaman (pH) air. Derajat keasaman (pH) yang optimum untuk melarutkan CO_2 adalah pada kisaran 6,5 – 9,5. Kisaran pH di bawahnya akan menyebabkan CO_2 mudah lepas ke atmosfer sehingga tidak dapat diserap oleh mikroalga. Sebaliknya pH yang berada di atas kisaran tersebut akan menyebabkan CO_2 menjadi bikarbonat (HCO_3^-) sehingga tidak dapat diserap oleh mikroalga.

Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen-DO*) dibutuhkan oleh

semua jasad hidup untuk bernafas. Proses metabolisme tersebut menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan pembiakan. Selain itu, oksigen juga dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik dalam proses aerobik. Oksigen pada perairan berasal dari proses difusi udara bebas dan hasil fotosintesis dari organisme yang hidup di dalam perairan tersebut. Namun, kadar oksigen yang terlalu tinggi justru menghambat konstanta kecepatan fotosintesis (Christenson and Sims, 2011).

E.5. Derajat Keasaman (pH)

Tingkat derajat keasaman (pH) akan mempengaruhi metabolisme dan pertumbuhan kultur mikroalga yaitu : mengubah keseimbangan karbon anorganik, mengubah ketersediaan nutrien dan mempengaruhi fisiologi sel. Proses fotosintesis akan menyebabkan penurunan CO₂ terlarut dalam air. Penurunan ini akan diikuti dengan peningkatan pH, sehingga menyebabkan konstanta kecepatan fotosintesis menjadi terbatas.

Belay (2013) menyatakan bahwa mikroalga *Spirulina* mampu tumbuh pada pH 9-10. Pertumbuhan di bawah pH menyebabkan mikroalga membutuhkan lebih banyak energi cahaya tiap sel. Cahaya tersebut tidak seluruhnya digunakan oleh mikroalga sehingga menyebabkan inefisiensi. pH mempengaruhi toksisitas semua senyawa kimia. Variasi pH dapat mempengaruhi metabolisme dan pertumbuhan mikroalga dalam beberapa hal, antara lain : mengubah keseimbangan dari karbon organik, mengubah ketersediaan nutrien, dan dapat mempengaruhi fisiologi sel.

E.6. Salinitas

Salinitas atau kadar garam merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap tekanan osmotik organisme air yaitu antara protoplasma dengan air. Variasi tekanan osmotik menyebabkan respon adaptasi *Spirulina* yang berbeda-beda dalam mempertahankan hidupnya. Pada penelitian mikroalga, salinitas tinggi yang diberikan pada media bertujuan untuk meningkatkan produksi biomassa dari mikroalga tersebut. Pengenceran dengan

menggunakan air tawar merupakan salah satu metode dalam pengaturan salinitas pada medium yang diperkaya nutrisi. Umumnya *Spirulina* mampu tumbuh pada kadar salinitas 2,5-30 g/L (Belay, 2013).

FASE PERTUMBUHAN MIKROALGA

Menurut Hadiyanto dan Azim (2016), pertumbuhan mikroalga dibagi menjadi beberapa fase yaitu :

F.1. Fase Adaptasi (*Lag Phase*)

Fase adaptasi merupakan fase awal pertumbuhan dimana mikroalga baru melakukan penyesuaian terhadap lingkungan baru. Fase ini dimulai setelah penambahan inokulum ke dalam media kultur hingga beberapa saat sesudahnya. Pada fase ini biasanya mikroalga mengalami tekanan (*stress*) fisiologis karena terjadi perubahan kondisi lingkungan yang cenderung berbeda dari lingkungan sebelumnya. Pada media baru, perlu dilakukan penambahan nutrient untuk mendukung pertumbuhan mikroalga. Hal ini akan memicu metabolisme mikroalga. Pada fase ini, pembelahan sel belum terjadi sehingga kepadatan sel belum meningkat karena mikroalga masih beradaptasi dengan lingkungan barunya.

F.2. Fase Eksponensial (*Log Phase*)

Fase eksponensial merupakan tahap pertumbuhan mikroalga pasca fase adaptasi. Fase ini dimulai dengan pembelahan sel yang meningkat secara intensif, konstanta kecepatan pertumbuhan konstan dan metabolismenya stabil. Jika digambarkan dalam kurva, pertumbuhan mikroalga akan berbentuk eksponensial. Pada fase ini mikroalga akan mengalami penambahan biomassa secara cepat karena didukung oleh ketersediaan nutrient dalam media. Pemanenan mikroalga pada umumnya dilakukan pada akhir fase ini karena struktur sel masih dalam kondisi normal. Nutrien dalam media dan kandungan nutrisi dalam sel mengalami keseimbangan. Kandungan protein dalam sel juga sangat tinggi sehingga sangat optimal untuk dimanfaatkan

baik untuk bibit maupun untuk konsumsi.

F.3. Fase Penurunan Pertumbuhan (*Declining Growth Phase*)

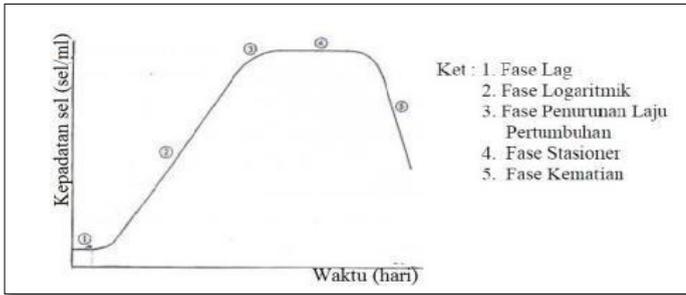
Fase penurunan pertumbuhan ditandai dengan berkurangnya kecepatan pertumbuhan mikroalga. Hal ini disebabkan oleh biomassa mikroalga yang telah mencapai tahap maksimum, sehingga kebutuhan nutrisi menjadi berkurang. Selain itu, jumlah sel mikroalga yang banyak juga menghalangi masuknya cahaya ke media, sehingga akan berpengaruh pada aktivitas fotosintesis. Pada fase ini, pembelahan sel masih terjadi namun tidak seintensif fase eksponensial, sehingga konstanta kecepatan pertumbuhan juga menurun. Faktor lingkungan yang lain seperti cahaya, pH, CO dan O₂ juga mulai membatasi pertumbuhan mikroalga.

F.4. Fase Stasioner (*Stationary Phase*)

Fase stasioner merupakan fase dimana tidak ada lagi pertumbuhan mikroalga. Konstanta kecepatan pertumbuhan menjadi nol. Aktivitas metabolisme menurun dan terjadi akumulasi racun. Kondisi lingkungan mulai terasa jenuh sehingga jumlah sel yang hidup sama dengan sel yang mati.

F.5. Fase Kematian (*Death Phase*)

Fase kematian merupakan fase akhir dari pertumbuhan mikroalga. Pada fase ini kemampuan metabolisme semakin turun sehingga cadangan makanan menjadi berkurang. Akumulasi racun juga semakin banyak, sehingga jumlah sel mikroalga yang mati semakin meningkat. Kepadatan sel menurun dengan cepat karena konstanta kecepatan kematian mikroalga jauh lebih tinggi daripada konstanta kecepatan pertumbuhannya. Sel yang mati bahkan bisa pecah (*lisis*) dan larut ke dalam media. Kondisi lingkungan berubah yang ditandai dengan warna air media kultur yang menjadi semakin pekat, terbentuk buih di permukaan dan terbentuk gumpalan mikroalga yang mengendap di dasar wadah kultur.



Gambar 5.2. Kurva Pertumbuhan Mikroalga

SPIRULINA SEBAGAI SUPER FOOD

Spirulina banyak digunakan sebagai pakan alami / protein sel tunggal karena mengandung nutrisi seperti karbohidrat, protein dan lemak (D. Ebowski *et al.*, 2022). Kandungan protein pada spirulina adalah 60-70%. Kandungan proteinnya bahkan lebih tinggi dari daging, ikan, telur dan kedelai (F. Jung *et al.*, 2019), sedangkan kandungan lemaknya rendah yaitu 1,5-12%. Selain digunakan sebagai pakan alami (Boukid & Castellari, 2023), spirulina juga banyak digunakan sebagai bahan kosmetik, obat-obatan dan pewarna alami (Ragusa *et al.*, 2021).

Manfaat spirulina yang sangat beragam menjadikannya sangat berpotensi untuk dikembangkan. Menurut (Saxena *et al.*, 2022), tujuan kultur mikroalga adalah untuk mendapatkan biomassa yang melimpah dengan kandungan nutrisi yang optimal. Selain itu faktor lingkungan seperti pH, temperatur, intensitas cahaya dan nutrien. Faktor internal seperti gen dan hormon juga sangat berpengaruh. Kultur dilakukan untuk meningkatkan biomassa. Waktu pemanenan juga harus menunggu puncak pertumbuhan populasi, sehingga biomassa yang dipanen bisa optimal (Zhang *et al.*, 2015).

Hormon merupakan zat kimia bukan hara (nutrisi) pada makhluk hidup yang dapat mempengaruhi pertumbuhan walaupun dalam kadar yang sedikit. Hormon berperan penting mengatur metabolisme sel, toleransi terhadap cekaman, meningkatkan efisiensi fotosintesis dan meningkatkan biomassa sel. Beberapa

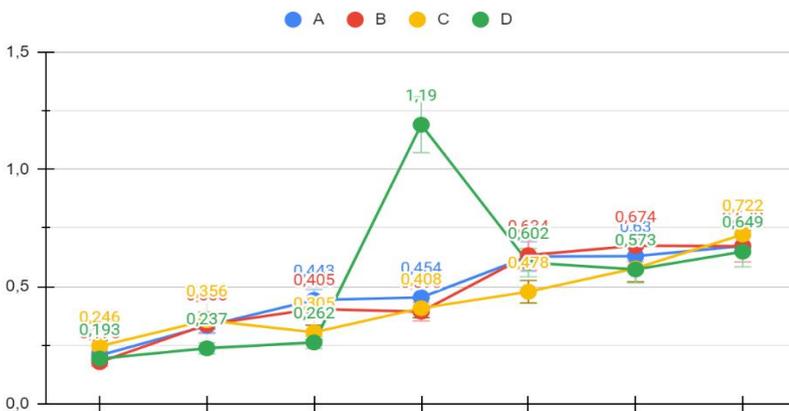
hormon pada tumbuhan dan mikroalga (fitohormon) yang dapat menstimulasi pertumbuhan adalah hormon auksin dan sitokinin. Hormon auksin berfungsi mengatur pembelahan sel. Hormon Sitokinin bersama dengan auksin berfungsi mengatur pertumbuhan dan perkembangan sel. Transportasi hormon pada tumbuhan dan mikroalga tidak harus melalui pembuluh, karena bisa juga melalui sitoplasma atau ruang antarsel (Wang *et al.*, 2022)

Penelitian yang dilaksanakan oleh penulis di Laboratorium Riset PT Alga Bioteknologi Indonesia pada Bulan Juli 2022 menggunakan variable bebas berupa hormon pertumbuhan yaitu hormon auksin dan sitokinin. Variabel terikat meliputi pertumbuhan sel, biomassa dan kandungan protein pada spirulina. Hasil penelitian meliputi kepadatan sel mikroalga Spirulina, kadar protein dan factor lingkungan yang meliputi pH, suhu dan salinitas.

1. Pertumbuhan Spirulina

Pertumbuhan spirulina diukur optical density nya menggunakan spektrofotometer. Optical density menggambarkan kepadatan sel yang diukur melalui kepadatan massanya. Grafik pertumbuhan spirulina tersaji dalam gambar 5.3

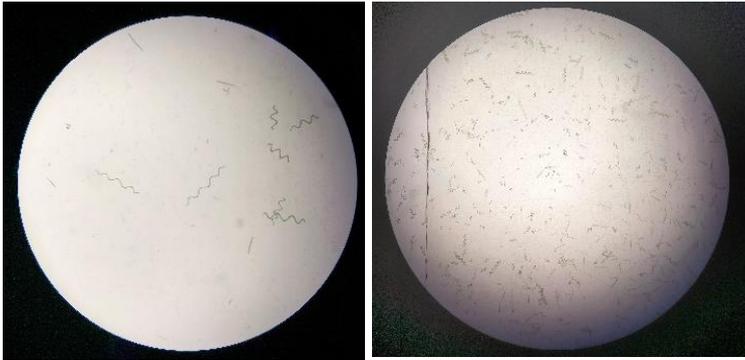
Optical Density Spirulina



Gambar 5.3. Grafik Pertumbuhan Spirulina

Berdasarkan grafik tersebut, pertumbuhan spirulina cenderung naik. Ada 1 kenaikan logaritmik yang terjadi pada

perlakuan D hari ke-4 dimana pertumbuhan spirulina tiba-tiba melonjak naik dan kemudian turun pada hari ke-5. Pertumbuhan ini diduga akibat dari pemberian hormon NAA yang berfungsi untuk menginduksi pembentangan sel. Perbandingan hasil pengamatan spirulina menggunakan mikroskop pada hari pertama dan hari ke empat bisa dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4. Hasil Pengamatan Menggunakan Mikroskop Perbesaran 400x (Kiri Hari ke-1, Kanan Hari ke-4)

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pada hari pertama masih jarang, kemudian bertambah banyak pada hari ke-4. Hal ini selaras dengan pengamatan optical density menggunakan spektrofotometer.

2. Kandungan Protein

Kandungan protein pada spirulina bisa dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5.1. Kandungan Protein

Nama Sampel	Kandungan Protein
Sampel A	74%
Sampel B	74%
Sampel C	37,5%
Sampel D	60,67%

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan protein menurun pada sampel C dan D. Hal ini karena pengaruh pemberian hormone NAA yang memacu pembelahan sel, namun kurang bisa meningkatkan kandungan protein.

3. Faktor Lingkungan

Kualitas air pada media kultivasi sangat penting untuk mendukung pertumbuhan *Spirulina* sehingga dapat tumbuh dengan baik. Faktor lingkungan merupakan faktor yang dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroalga selain nutrisi (Budiman, 2019). Faktor lingkungan dalam penelitian ini meliputi pH, temperatur, dan salinitas yang diamati setiap hari. Tujuannya untuk memantau dan memastikan kultur berada dalam kondisi normal. Hasil pengamatan kualitas air selama penelitian disajikan dalam tabel 5.2.

Tabel 5.2. Faktor Lingkungan

Parameter	Kondisi Lingkungan
pH	9-11
Temperatur (°C)	32-40
Salinitas (ppt)	1-10

Derajat Keasaman (pH) merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kelangsungan hidup organisme yang tinggal di lingkungan perairan. Perubahan pH yang drastis dapat mempengaruhi kinerja enzim dan mengacaukan proses fotosintesis (Jung *et al.*, 2019). Pengamatan pH dilakukan dengan menggunakan pH meter. Berdasarkan tabel 5.2, pH media kultur berada pada kisaran 9-11. Angka tersebut masih termasuk batas pH yang dibutuhkan *Spirulina* untuk bisa tumbuh secara optimal.

Menurut Soni, Sudhakar and Rana, (2019), Spirulina tumbuh secara optimal pada pH 9 – 10. Untuk mempertahankan kestabilan pH dilakukan aerasi, penjagaan temperatur, pemberian nutrisi yang cukup dan menghindari kontaminasi (Belay, 2013).

Temperatur pada media kultur berkisar antara 32-40 °C. Temperatur tersebut masih memungkinkan Spirulina untuk tumbuh. Menurut Belay (2013), temperatur minimum untuk menopang pertumbuhan Spirulina adalah 15 – 20 °C, sedangkan menurut Soni, Sudhakar and Rana (2019), temperatur optimum untuk pertumbuhan Spirulina adalah 30-40 °C. Temperatur yang optimum dapat meningkatkan metabolisme sel Spirulina. Namun temperatur yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kematian sel.

Salinitas pada media kultur awalnya sebesar 5 ppt. Selama 7 hari kultur, salinitas mengalami naik-turun. Menurut (Almahrouqi *et al.*, 2015), Spirulina dapat tumbuh optimal pada kadar salinitas 5 -15 ppt. Belay (2013), menambahkan bahwa Spirulina tumbuh lebih optimal pada kadar salinitas tinggi, bahkan masih dapat hidup pada air payau yang memiliki kadar salinitas 32 – 65 ppt .

SIMPULAN

Pemberian hormon Auksin dan Sitokinin berpengaruh positif terhadap pertumbuhan dan biomass spirulina, namun menurunkan kandungan proteinnya, sehingga perlu penelitian lebih lanjut. Jumlah biomassa yang melimpah bisa digunakan sebagai bahan masker, pakan ternak, dan pakan ikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kepada LPPM UNNES yang telah memberikan dana Penelitian Dasar tahun 2022 dengan Nomor 114.8.4/UN37/PPK.3.1/2022.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd Mutalib, M., Rahman, M.A., Othman, M.H.D., Ismail, A.F., & Jaafar, J., 2017. *Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy-Dispersive X-Ray (EDX) Spectroscopy, Membrane Characterization*. Elsevier B.V.
- Abidin, Z., Atmadja, S.T., & Arijanto., 2017. Pengujian Alat Pengolah Limbah Plastik Jenis Ps (Polystyrene) Menjadi Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Teknik Mesin Undip*, 5(2), pp.100–105.
- Almahrouqi, H. A., Naqqiuddin, M.A., Achankunju, J., Omar, H., & Ismail, A., 2015. Different Salinity Effects on the Mass Cultivation of *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) Under Sheltered Outdoor Conditions in Oman and Malaysia. *Journal of Algal Biomass Utilization*, 6(1), pp.1–14.
- Astuti, W., Jamali, A., & Amin, M., 2007. Desalinasi Air Payau Menggunakan Surfactant Modified Zeolite (SMZ). *Jurnal Zeolit Indonesia*, 6(1), pp.32–37.
- Belay, A., 2013 *Biology and Industrial Production of Arthrospira (Spirulina)*. Second. Edited by R. Amos, Qiyang Hu. California: Blackwell Publishing Ltd.
- Borowitzka, M.A., 2018. *Biology of Microalgae, Microalgae in Health and Disease Prevention*. Elsevier Inc.
- Budiman, A., 2019. *Mikroalga Kultivasi, Pemanenan, Ekstraksi dan Konversi Energi*. Pertama. Edited by Monica. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Buwono, N.R., & Nurhasanah, R.Q., 2018. Studi Pertumbuhan Populasi *Spitulina* sp. pada Skala Kultur yang Berbeda. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 10(1), pp.26–33.
- Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V., & Uricchio, V.F., 2020. A Detailed Review Study on Potential Effects of Microplastics and Additives of Concern on Human Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(4).
- Canniff, P.M., & Hoang, T.C., 2018. Microplastic Ingestion by *Daphnia Magna* and Its Enhancement on Algal Growth. *Science of the Total Environment*, 633, pp.500–507.
- Chandra, M., 2016. *Real Cost of Styrofoam*. St. Louis, Missouri, USA:

Saint Luis University.

- Chentir, I., Hamdi, M., Doumandji, A., HadjSadok, A., Ouada, H.B., Nasri, M., & Jridi, M., 2017. Enhancement of Extracellular Polymeric Substances (EPS) Production in *Spirulina* (*Arthrospira* sp.) by Two-Step Cultivation Process and Partial Characterization of Their Polysaccharidic Moiety. *International Journal of Biological Macromolecules*, 105, pp.1412–1420.
- Christenson, L., & Sims, R., 2011. Production and Harvesting of Microalgae for Wastewater Treatment, Biofuels, and Bioproducts. *Biotechnology Advances*, 29(6), pp.686–702.
- Fachrul, M.F., & Rinanti, A., 2018. Bioremediasi Pencemar Mikroplastik di Ekosistem Perairan Menggunakan Bakteri Indigenous (Bioremediation of Microplastic Pollutant in Aquatic Ecosystem by Indigenous Bacteria). *Seminar Nasional Kota Berkelanjutan*, 1(1), pp.302.
- Fahrenfeld, N.L., Arbuckle-Keil, G., Beni, N.N., & Bartelt-Hunt, S.L., 2019. Source Tracking Microplastics in the Freshwater Environment. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 112, pp.248–254.
- Fakhri, M., Antika, P.W., Ekawati, A.W., & Arifin, N.B., 2020. Pertumbuhan, Kandungan Pigmen, dan Protein *Spirulina platensis* yang Dikultur Pada $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ Dengan Dosis yang Berbeda. *Journal of Aquaculture and Fish Health*, 9(1), pp.38–47.
- Farrelly, T.A., & Shaw, I.C., 2017. Polystyrene as Hazardous Household Waste. *Household Hazardous Waste Management*, 2017.
- Guiry, M.D., 2016. *World-wide Electronic Publication*. National University of Ireland, Galway, AlgaeBase.
- Hadiyanto., & Azim, M., 2012. *Mikroalga Sumber Pangan dan Energi Masa Depan*. Edisi 1. Semarang: UNDIP Press.
- Hadiyanto., & Azim, M., 2016. *Dasar-Dasar Bioproses*. Pertama. Semarang: EF Press Digimedia.
- Harding, S., 2016. Marine Debris: Understanding, Preventing and Mitigating the Significant Adverse Impacts on Marine and

- Coastal Biodiversity. *CBD Technical Series*, 2016.
- Harun, R., Singh, M., Forde, G.M., Danquah, M.K., 2010. Bioprocess Engineering of Microalgae to Produce a Variety of Consumer Products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(3), pp.1037–1047.
- Ho, B.T., Roberts, T.K., & Lucas, S., 2018. An Overview on Biodegradation of Polystyrene and Modified Polystyrene: The Microbial Approach. *Critical Reviews in Biotechnology*, 38(2), pp.308– 320.
- Hutabarat., & Herawati, V.E.J. 2014. Profil Asam Amino Essensial *Skeletonema costatum* dalam Kultur Massal Menggunakan Media Kultur Teknis yang Berbeda. *Jurnal Ilmu Perikanan dan Sumberdaya Perairan - Aquasains*, 53(9), pp.221–226.
- Inkson, B.J., 2016. *Scanning Electron Microscopy (SEM) and Transmission Electron Microscopy (TEM) for Materials Characterization, Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods*. Elsevier Ltd.
- Islam, M.T., 2020. *Learning SPSS without Pain: A Comprehensive Manual for Data Analysis and Interpretation of Outputs*. First Edit. Dhaka, Bangladesh: ASA Publications.
- Julinawati., Marlina., Nasution, R., & Sheilatina., 2015. Applying SEM-EDX Techniques to Identifying the Types of Mineral of Jades (Giok) Takengon, Aceh. *Jurnal Natural*, 15(2).
- Jung, F., Krüger-Genge, A., Waldeck, P., Küpper, J.-H., 2019. *Spirulina Platensis*, a Super Food?. *Journal of Cellular Biotechnology*, 5, pp.43–54.
- Khoironi, A., & Sudarno, A., 2019. Evaluation of the Interaction Among Micoalgae *Spirulina* sp, Plastics Polyethylene Terephthalate and Polypropylene in Freshwater Environment. *Journal of Ecological Engineering*, 20(6), pp.161–173.
- Lagarde, F., Olivier, O., Zanella, M., Daniel, P., Hiard, S., & Caruso, A., 2016. Microplastic Interactions with Freshwater Microalgae: Hetero-aggregation and Changes in Plastic Density Appear Strongly Dependent on Polymer Type. *Environmental Pollution*, 215, pp.331–339.
- Li, S., Wang, P., Zhang, C., Zhou, X., Yin, Z., Hu, T., Hu, D., Liu, C., Zhu,

- L., 2020. Influence of Polystyrene Microplastics on the Growth, Photosynthetic Efficiency and Aggregation of Freshwater Microalgae *Chlamydomonas Reinhardtii*. *Science of the Total Environment*, 714, pp.136767.
- Li, Y., Lu, Z., Zheng, H., Wang, J., & Chen, C., 2020. Microplastics in Surface Water and Sediments of Chongming Island in the Yangtze Estuary, China. *Environmental Sciences Europe*, 32(1).
- Mohamed, M.A., Jaafar, J., Ismail, A.F., Othman, M.H.D., & Rahman, M.A., 2017. *Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy, Membrane Characterization*. Elsevier B.V.
- Molugaram, K., & Rao, G.S., 2017. ANOVA (Analysis of Variance). *Statistical Techniques for Transportation Engineering*, pp. 451–462.
- Nakkabi, A., Sadiki, M., Fahim, M., Ittobane, N., IbensoudaKoraichi, S., Barkai, H., El-abed, S., 2015. Biodegradation of Polyester urethanes by *Bacillus subtilis*. *Int. J. Environ. Res.*, 9, pp.157–162.
- Nandiyanto, A.B.D., Oktiani, R., & Ragadhita, R., 2019. How to Read and Interpret Ftir Spectroscope of Organic Material. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(1), pp.97–118.
- Nur, M.M.A., Swaminathan, M.K., Boelen, P., & Buma, A.G.J., 2019. Sulfated Exopolysaccharide Production and Nutrient Removal by the Marine Diatom *Phaeodactylum tricornutum* Growing on Palm Oil Mill Effluent. *Journal of Applied Phycology*, 31(4), pp.2335–2348.
- Phelan, A.A., Ross, H., Setianto, N.A., Fielding, K., & Pradipta, L., 2020. Ocean Plastic Crisis—Mental Models of Plastic Pollution from Remote Indonesian Coastal Communities. *PLoS ONE*, 15(7), pp.1–29.
- Prata, J.C., Lavorante, B.R.B.O., Montenegro, M.d-C.B.S.M., Guilhermino, L., 2018. Influence of Microplastics on the Toxicity of the Pharmaceuticals Procainamide and Doxycycline on the Marine Microalgae *Tetraselmis chuii*. *Aquatic Toxicology*, 197, pp.143–152.

- Raja, R., Shanmugam, H., Ganesan, V., & Carvalho, I.S., 2014. Biomass from Microalgae: An Overview. *Journal of Oceanography and Marine Research*, 2(1), pp.1–7.
- Rummel, C.D., Jahnke, A., Gorokhova, E., Kühnel, D., & Jansen, M.S., 2017. Impacts of Biofilm Formation on the Fate and Potential Effects of Microplastic in the Aquatic Environment. *Environmental Science and Technology Letters*, 4(7), pp.258–267.
- Sajdak, M.M., 2018. *Optimization Frameworks in Resource Management and Process Engineering, Plastics to Energy: Fuel, Chemicals, and Sustainability Implications*. Elsevier Inc.
- Salamah, S., & Maryudi, M., 2018. Proses Pirolisis Limbah Styrofoam Menggunakan Katalis Silika-Alumina. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 13(1), pp.1–7.
- Sastrohamidjojo, H., 2019. *Dasar-Dasar Spektroskopi*. Kedua. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Sjollema, S.B., Redondo-Hasselerharm, P., Leslie, H.A., Kraak, M.H.S., Vethaak, A.D., 2016. Do Plastic Particles Affect Microalgal Photosynthesis and Growth?. *Aquatic Toxicology*, 170, pp.259–261.
- Song, Y., Qiu, R., Hu, J., Li, X., Zhang, X., Chen, Y., Wu, W.M., He, D., 2020. Biodegradation and Disintegration of Expanded Polystyrene by Land Snails *Achatina fulica*. *Science of the Total Environment*, 746, pp.141289.
- Soni, R.A., Sudhakar, K., & Rana, R.S., 2019. Comparative Study on the Growth Performance of *Spirulina Platensis* on Modifying Culture Media. *Energy Reports*, 5, pp.327–336.
- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana, & Dimiyati, A., 2015. Studi Scanning Electron Microscopy(SEM) untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*, 9, pp.44–50.
- Van den Broek, W.H.A.M., Derks, E.P.P.A., van de Ven, D.E.W., Wienke, P., & Geladi, L.M.C.B., 1996. Polymer Identification Using Mid Infrared Spectroscopy. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 35, pp.187–197.
- Weber, A., Randow, M.V., Voigt, A., Au, M.V.D., Fischer, E.,

- Meermann, B., & Wagner, M., 2021. Ingestion and Toxicity of Microplastics in the Freshwater Gastropod *Lymnaea stagnalis*: No Microplastic-Induced Effects Alone or in Combination with Copper. *Chemosphere*, 263.
- Wibawa, P.J., Nur, M., Asy'ari, M., & Nur, H., 2020. SEM, XRD and FTIR Analyses of Both Ultrasonic and Heat Generated Activated Carbon Black Microstructures. *Heliyon*, 6(3), pp.e03546.
- Widianingsih., Hartati, R., Endrawati, H., & Hilal, M., 2015. Kajian Kadar Total Lipid Dan Kepadatan. *Metana*, 7(1).

BAB VI. MODIFIKASI SELULOSA KULIT DURIAN MENGUNAKAN GLUTARALDEHID SEBAGAI KOAGULAN UNTUK PEMULIHAN LIMBAH CAIR TEPUNG PATI AREN

Sigit Priatmoko*, Alfian Nur Rohman

Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Negeri Semarang

sigitwarsono65@unnes.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.15294/ka.v1i2.141>

ABSTRAK

Selulosa kulit durian dapat dimodifikasi menjadi koagulan dengan melakukan beberapa proses modifikasi kimia. Salah satu metode modifikasi yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan glutaraldehid. Proses ini akan menghasilkan selulosa terkoneksi gugus glutaraldehid yang memiliki kemampuan sebagai koagulan. Industri tepung pati aren di Kabupaten Klaten, Jawa Tengah merupakan industri yang menghasilkan limbah cair dan limbah padat yang selain mengganggu estetika, juga mengganggu kualitas air di lingkungan sekitarnya. Pada bagian lain limbah kulit durian merupakan sumber selulosa yang dapat digunakan sebagai precursor koagulan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas koagulan dari preparasi selulosa kulit durian (SKD) dan glutaraldehida dalam proses pemulihan limbah cair tepung pati aren sebelum dialirkan ke sungai. Data yang dihasilkan dapat digunakan untuk mencari solusi penanganan limbah cair tepung pati aren maupun limbah kulit durian. Hasil penelitian menunjukkan kandungan BOD₅ dan COD pada limbah cair masing-masing mencapai 570,4 dan 1840 mg/L, selanjutnya proses koagulasi dan flokulasi dengan metode *jar test* didapatkan hasil penurunan kandungan BOD₅ dengan koagulan SKD 339.97 mg/L (dosis 2500 mg/L) sedangkan menggunakan koagulan SKD-glutaraldehida menghasilkan 346,16 mg/L (dosis 2500 mg/L).

Dalam penurunan kandungan COD dengan koagulan SKD diperoleh 1096,67 mg/L (dosis 2500 mg/L) sedangkan menggunakan koagulan SKD-glutaraldehida diperoleh 1116,67 mg/L (dosis 2500 mg/L).

Kata Kunci: Koagulan, Selulosa, Kulit Durian, Glutaraldehida

PENDAHULUAN

Proses pengolahan air yang memadai merupakan salah satu kunci dalam memelihara kelestarian lingkungan. Dengan jumlah penduduk yang semakin besar, limbah cair yang dibuang ke lingkungan perairan juga semakin meningkat. Polutan utama pada air umumnya diakibatkan oleh pembuangan limbah rumah tangga, limbah industri, dan limbah pertanian. Polutan tersebut dapat mencemari lingkungan dalam bentuk larutan, koloid, maupun bentuk partikel lainnya. Mengingat besarnya dampak yang ditimbulkan bagi lingkungan maka dibutuhkan metode yang tepat untuk mengolah air.

Pengolahan air dapat dilakukan dengan berbagai metode baik yang bersifat fisik, kimiawi maupun biologis. Pengolahan air secara fisis adalah pengolahan air di mana cara utama dilakukan adalah dengan menggunakan teknik filtrasi dan sedimentasi. Filtrasi adalah suatu langkah pemurnian untuk memisahkan padatan dari cairannya dengan menggunakan suatu media filter. Sedimentasi adalah langkah pemurnian untuk memisahkan padatan dari cairannya dengan menggunakan gaya gravitasi. Pengolahan air dengan metode kimiawi biasanya diartikan sebagai suatu proses pengolahan air untuk menghilangkan kontaminan-kontaminan yang terkandung dalam air, dengan cara penambahan bahan-bahan kimia atau dengan melakukan proses kimiawi. Termasuk cara kimiawi antara lain presipitasi, adsorpsi, dan koagulasi. Pengolahan air secara biologis dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan organisme-organisme yang berbahaya yang terdapat dalam air. Secara umum pengolahan air secara biologi dibagi menjadi 2 kategori yaitu: pengolahan secara aerob dan pengolahan anaerob.

Di antara metode-metode kimiawi yang ada, metode koagulasi merupakan salah satu metode yang cukup banyak diaplikasikan pada pengolahan air. Pada metode ini biasanya digunakan suatu koagulan polimer anorganik yakni garam-garam aluminium seperti aluminium sulfat dan PAC (*poly aluminum chloride*). Penggunaan garam-garam aluminium ini sangat berbahaya juga. Beberapa studi melaporkan bahwa aluminium, senyawa alum, dapat memicu penyakit Alzheimer (Campbell, 2002). Metode pengolahan air yang digunakan pada umumnya adalah pengolahan secara fisika-kimia, yakni koagulasi-flokulasi yang kemudian diikuti dengan sedimentasi. Koagulasi merupakan proses kimia, yang salah satunya digunakan dalam proses pengolahan air permukaan. Dalam metode ini bahan kimia (koagulan) dicampur dengan air baku sehingga membentuk campuran yang homogen. Tujuan utama koagulasi adalah pencampuran koagulan secara lebih merata atau homogen sehingga terbentuk flok. Flok adalah gumpalan lumpur yang dihasilkan dalam proses koagulasi-flokulasi. Sedangkan flokulasi adalah proses penyisihan kekeruhan air dengan cara penggumpalan partikel kecil menjadi partikel yang lebih besar. Pada proses flokulasi terjadi penggumpalan mikroflok menjadi makroflok yang sudah terbentuk pada proses koagulasi (Yuliastri, 2010). Dilaporkan juga bahwa monomer beberapa polimer organik sintetik seperti PAC dan Alum memiliki sifat neurotoksisitas. Alternatif lain dari penggunaan koagulan sintetik yaitu pemanfaatan biokoagulan yang berasal dari bahan-bahan yang tersedia di alam (Hendrawati *et al.*, 2013). Penggunaan koagulan bahan alam (biokoagulan) dilakukan sebisa mungkin untuk mengurangi penggunaan bahan sintetik yang menghasilkan efek samping dalam penggunaannya. Penggunaan koagulan bahan alam ini akan lebih murah dibandingkan dengan penggunaan koagulan sintetik yang biasa digunakan untuk pemurnian air (Idris *et al.*, 2012).

Telah dilakukan beberapa penelitian terhadap bahan alam yang memiliki potensi sebagai biokoagulan diantaranya biji kelor (*Moringa olifera*) (Yuliastri, 2010) yang menurunkan turbiditas

limbah cair sebesar 98,6%, konduktifitas sebesar 10,8%, BOD sebesar 11,7%, dan menghilangkan kadar logam (Cd, Cr dan Mn). Biji nirmali (*Strychnos potatorum*) (Babu dan Chaudhuri, 2005) dalam tes laboratorium, penyaringan langsung air permukaan keruh dengan kekeruhan 15-25 NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*), bakteri heterotrofik 280-500 CFU (*Colony Forming Unit*) mL⁻¹, dan coliform tinja 280-500 MPN (*Most Probably Number*) 100 mL⁻¹, dengan biji *S. potatorum* atau *M. oleifera* sebagai koagulan, menghasilkan substansial peningkatan kualitas estetika dan mikrobiologisnya dengan kekeruhan 0,3-1,5 NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*), bakteri heterotrofik 5-20 CFU (*Colony Forming Unit*) mL⁻¹, dan coliform fecal 5-10 MPN 100 mL⁻¹. Biji asam jawa (*Tamarindus indica L*) (Enrico, 2008) mampu menyisihkan turbiditas sebesar 87,88%, TSS (total suspended solid) sebesar 98,78% dan COD sebesar 22,40%. Tepung Jagung (Prihatinningtyas dan Effendi, 2013) hasil percobaan menunjukkan bahwa ekstrak jagung dan jagung ionik bersifat polielektrolit dan mengandung gugus karboksil, hidroksil dan amida yang berperan sebagai komponen aktif koagulasi. Jagung ionik memberikan efisiensi koagulasi yang lebih baik dibandingkan dengan ekstrak jagung. Tanaman lain yang diduga memiliki potensi sebagai koagulan yaitu durian.

KULIT BUAH DURIAN

Buah durian merupakan salah satu jenis buah yang banyak dikonsumsi oleh sebagian orang. Buah ini terdiri dari tiga komponen, yaitu buah, biji dan kulit, limbah paling besar yang dihasilkan dari buah ini yaitu bagian kulitnya. Kulit durian merupakan salah satu limbah pertanian yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pakan alternatif, namun hingga saat ini masih terbatas sekali informasi mengenai pemanfaatannya sebagai pakan alternatif bagi ruminansia. Berdasarkan kebiasaan masyarakat di beberapa daerah, kulit durian biasanya dijadikan bahan bakar pengganti kayu bakar atau dikembalikan ke tanah sebagai kompos. Penggunaan kulit durian sebagai bahan koagulan masih sangat terbatas, padahal potensi kimia yang dimiliki sangat besar. Kulit

durian memiliki kandungan selulosa mencapai 60,45%, sedangkan kandungan lainnya berupa ekstraktif 11,09 %, hemiselulosa 13,01%, dan lignin 15,45%. Setiap butir durian dihasilkan lebih banyak kulit daripada buah dan biji, dengan kata lain limbah yang dihasilkan dari durian berupa kulit ini cukup tinggi. Bagian durian yang dapat dimakan atau buahnya adalah 22%, dan bagian bijinya adalah 8,84%, bahan kering rata-rata sampel durian adalah 15,93%. Dari data-data tersebut, maka potensi ketersediaan kulit durian dapat dihitung sebagai berikut: $1.130.000 \text{ ton/tahun (BPS, 2020)} \times 69,16\% \times 15,93\% = 124.494,22 \text{ ton/tahun}$. Jumlah tersebut menunjukkan betapa besarnya potensi kulit durian yang tersedia selama satu tahun dalam bahan kering. Dengan kandungan selulosa yang tinggi pada kulit durian sehingga kulit durian bisa dimanfaatkan sebagai biopolimer dalam bahan tambahan yang diformulasikan ke dalam koagulan (Tan *et al.*, 2017).

Di Indonesia, produksi tepung aren terdapat di beberapa daerah seperti Jawa Tengah (Banyumas, Klaten dan Magelang), Jawa Timur (Kediri), Bali (Gianyar), dan Lombok. Industri tepung aren di Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten merupakan sentra industri produksi tepung aren di wilayah Jawa Tengah. Dalam proses pengolahan aren tersebut banyak terdapat kendala, salah satunya yaitu pencemaran lingkungan akibat dari limbah cair yang dihasilkan. Limbah cair berasal dari proses penyaringan dan pengendapan tepung aren. Nurcahyo *et.al* (2015) melaporkan bahwa limbah cair yang dihasilkan oleh pabrik tepung aren di Dukuh Bendo, Kecamatan Tulung, Klaten Jawa Tengah mengandung BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD (*Chemycal Oxygen Demand*) yang cukup tinggi yaitu masing-masing 2222 mg/L dan 5722 mg/L dan menjadi pencemar bagi lingkungan sekitarnya. Kebanyakan dari industri tepung aren di daerah tersebut mengalirkan limbah cair aren langsung ke lingkungan tanpa diolah terlebih dahulu sehingga menyebabkan pencemaran air dan tanah yang ada di sekitar industri tepung aren, selain itu juga akan berdampak pada tanaman, hewan dan manusia yang ada disekitarnya.

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa buah durian yang selama ini hanya dimanfaatkan buahnya, kulit dan bijinya dibuang begitu saja. Untuk mengurangi menumpuknya limbah kulit durian sekaligus untuk mengatasi limbah cair pati aren, maka potensi kulit durian sebagai koagulan alami perlu dipelajari. Penggunaan koagulan alami dari kulit durian juga dapat menekan penggunaan koagulan sintetik, sehingga potensi ekonomi dari pemanfaatan limbah durian menjadi optimal. Tanaman yang diduga memiliki potensi sebagai koagulan yaitu durian, buah durian terdiri dari tiga komponen, yaitu 20%-25% buah, 15%-20% biji dan 60%-75% kulit, limbah paling besar yang dihasilkan dari buah ini yaitu bagian kulitnya, dimana komposisi kimia di dalam kulit durian berupa ekstraktif 11,09 %, hemiselulosa 13,01%, selulosa 60,45% dan lignin 15,45%, dengan kandungan selulosa yang tinggi pada kulit durian sehingga kulit durian bisa dimanfaatkan sebagai biopolimer dalam bahan tambahan yang diformulasikan ke dalam koagulan (Tan *et al.*, 2017).

PROSEDUR PEMBUATAN KOAGULAN

Untuk membuat koagulan dari limbah kulit durian, diperlukan alat-alat antara lain: pisau, blender, ayakan 50 mesh, magnetic stirrer (Vision), termometer, peralatan gelas, buret 50 ml (pyrex), statif, klem, FTIR (Perkin Elmer), neraca analitik (Ohaus), kain saring, oven, pH meter universal, cawan petri, labu Kjeldahl, kertas saring, *Particle Size Analysis* (HORIBA), *Scanning Electron Microscope* (JEOL JSM-6510LA), alat destilasi, alat sokhletasi, alat refluks, furnace, cawan porselen, batu didih, *jar test* (Velp jlt 4), stopwatch, dirigen 5 liter (4 buah), dan botol 1 liter (15 buah). Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: limbah kulit durian, Limbah cair tepung pati aren, *Poly Aluminum Chloride* (PAC), Aquades, Aseton, Glutaraldehida (kadar = 6%), H₂SO₄ pekat (kadar = 95,0 - 97,0%), NaOH (kadar = 99,0 %), H₂O₂ 10%, NaCl (kadar = 99,5%), Alkohol 95%, CuSO₄ (kadar=99,0-100,5%), Na₂SO₄ (kadar = 99%), HCl, Indikator mensel, dan *n*-Heksana.

Komponen aktif dari tepung kulit durian (TKD) yang berperan dalam proses koagulasi dapat diperoleh dengan cara

isolasi selulosa. Proses isolasi selulosa dilakukan dengan metode pemisahan zat pati, delignifikasi dan *bleaching*. Tepung kulit durian dipisahkan dari pati dengan cara merendam dalam air panas ($\pm 80-100^{\circ}\text{C}$) selama 15 menit (Hidayat, 2015). Delignifikasi dilakukan dengan merendam tepung kulit durian menggunakan larutan natrium hidroksida 10% (b/v) selama 24 jam dan dilanjutkan *bleaching* menggunakan larutan hidrogen peroksida 10% (v/v) selama 24 jam, kemudian di saring dan dicuci hingga bersih dan dikeringkan di dalam oven dengan suhu 60°C hingga berat konstan (Nur'ain *et al.*, 2017). Hasil isolasi selulosa tepung kulit durian dinamakan koagulan selulosa kulit durian (SKD).

Koagulan selulosa kulit durian (SKD) ditimbang 10 gr dicampurkan dengan 600 mL NaOH 0,07 N selama 30 menit. Kemudian ditambahkan 18 mL glutaraldehida dan 5 gr NaCl. Campuran diaduk selama 5 jam. Kemudian campuran dicuci dengan akuades hingga pH filtrat sama dengan pH aquades. Campuran dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 30 menit. Hasil preparasi dinamakan SKD-glutaraldehida (Abdillah *et al.*, 2015). koagulan dari TKD, SKD dan SKD-Glutaraldehida dilakukan uji karakteristik FTIR dan zeta potensial.

Percobaan dilakukan dengan alat *jar test* sebanyak 1000 mL air limbah yang sudah diukur BOD_5 dan COD awal ditambahkan koagulan sintetik PAC dengan dosis 2000, 2500, 3000 dan 3500 mg/L, kemudian diputar pada kecepatan 300 rpm selama 2 menit dilanjutkan dengan 60 rpm selama 20 menit (Yusoff *et al.*, 2018). Pengambilan sampel dilakukan setelah pengendapan selama 30 menit kemudian diukur BOD_5 dengan standar SNI 6989.72:2009 dan COD dengan standar SNI 6989.2:2019, dari hasil tersebut kemudian ditentukan dosis PAC yang paling optimum. Mengulangi uji *jar test* terhadap limbah cair tepung pati aren dengan mengganti koagulan sintetik PAC dengan koagulan SKD dan SKD-Glutaraldehida. Flok yang terbentuk dari koagulan paling optimum selanjutnya dianalisa dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengetahui bentuk morfologinya, Komposisi dalam flok ditentukan dengan analisa EDX.

HASIL SINTESIS

Preparasi Limbah Kulit Durian

Kulit durian dipotong-potong, lalu dicuci bersih kemudian kemudian dijemur dengan sinar matahari sampai kering (selama 3 hari). Untuk mengecek kulit durian kering bisa dengan cara membelah kulit durian yang sudah dijemur. Jika pada bagian dalam atau tengah sudah kering maka proses penjemuran bisa dihentikan. Proses pengeringan ini bertujuan agar kulit durian tidak busuk dan tidak ditumbuhi jamur/kapang atau mikroorganisme lain. Kulit durian kering selanjutnya dihaluskan menggunakan blender, disaring menggunakan ayakan berukuran 50 mesh untuk mendapatkan hasil yang seragam. Metode pengecilan ukuran ini merupakan metode praperlakuan biomassa secara fisik. Metode praperlakuan biomassa secara fisik ini dipilih karena prosesnya yang mudah dan efektif dibandingkan dengan praperlakuan lainnya (Huijgen *et al.*, 2010). Praperlakuan fisik menyebabkan penurunan kristalinitas selulosa dan derajat polimerisasi selulosa, meningkatkan luas permukaan dan ukuran pori lignoselulosa, meningkatkan proses perpindahan massa dan perpindahan panas, memecah dan mengurangi kandungan lignin dan hemiselulosa serta meningkatkan porositas bahan. Reaksi isolasi selulosa berlangsung lebih cepat pada ukuran partikel kecil dibandingkan partikel yang lebih besar (Novia *et al.*, 2014). Pada Gambar 6.1 ditunjukkan hasil preparasi limbah kulit durian menjadi tepung kulit durian.



(a)

(b)

Gambar 6.1. (a) Limbah Kulit Durian Sebelum Preparasi (b) Limbah Kulit Durian Setelah Preparasi

Karakterisasi Kulit Durian

Karakterisasi kulit durian ini bertujuan untuk menguji kandungan proksimat kulit durian yang diambil dari Desa Ngijo, Kecamatan Gunungpati, Kota Semarang, Jawa Tengah. Ada 6 komponen yang perlu dikarakterisasi, diantaranya kadar air, kadar abu, kadar lemak, kadar protein, kadar serat, dan kadar karbohidrat. Hasil analisis kadar kadar air, protein, lemak, serat, abu dan karbohidrat kulit durian ditampilkan pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1. Kadar Proksimat Pada Kulit Durian Kering Gunungpati, Semarang, Jawa Tengah

Parameter	Kadar (%)
Air	10,24
Protein	11,2
Lemak	6,34
Serat	41,99
Abu	8,48
Karbohidrat	21,75

Kandungan air dalam sampel berpengaruh terhadap daya simpan sampel tersebut. Sampel kering apabila memiliki kandungan air tinggi, maka kemungkinan besar akan lebih cepat rusak dan ditumbuhi mikroba sehingga kualitasnya akan menurun (Retnani dkk., 2009). Oleh sebab itu diperlukan kadar air sebaiknya kurang dari 12% pada sampel kering untuk menghindari pertumbuhan mikroba. Berdasarkan hasil proksimat, kulit durian mengandung kadar air sebesar 10,24%. Nilai tersebut diperbolehkan karena masih dibawah 12% (Fauziah, 2015). Kadar lemak, kadar protein dan kadar abu juga digunakan untuk menilai kandungan nutrisi dari kulit durian, untuk kadar lemak dan protein berturut-turut sebesar 6,34 dan 11,20%. Kadar abu dalam bahan menggambarkan kandungan mineral-mineral anorganik sisa pembakaran pada suhu 500°C. Kadar abu dari kulit durian sebesar 8,48 %. Nilai ini lebih besar dari kadar abu kulit durian yang

dilakukan oleh (Ana *et al.*, 2015) yaitu 4,35%, sedangkan komponen penting lain yang perlu diperhatikan dari kulit durian adalah kadar serat. Kadar serat merupakan komponen yang paling penting untuk menilai berapa banyak selulosa yang dapat dihasilkan dari proses hidrolisis, karena semakin banyak serat yang dikandung, maka semakin banyak selulosa yang terkandung didalamnya. Nilai kadar serat dari kulit durian yaitu 41,99%, komponen kadar serat dalam tepung kulit durian ini paling tertinggi dari pada komponen yang lain. Nilai ini menunjukkan bahwa kulit durian memiliki sumber serat yang dapat diisolasi sebagai sumber selulosa.

Isolasi Selulosa

Pemisahan Zat Pati/Amilum

Isolasi selulosa ini bertujuan untuk memisahkan kulit durian dari zat pati dan lignin sehingga diperoleh selulosa murni dari tepung kulit durian. Langkah yang pertama yaitu proses pemisahan zat pati atau amilum dari serbuk kulit durian proses ini dilakukan dengan memanaskan serbuk kulit durian yang direndam dengan air panas bersuhu 80 - 100°C selama 15 menit, kemudian dibilas dengan air bersih sehingga zat pati atau amilum yang menempel pada serbuk kulit durian sudah bersih. Tujuan dari perendaman dan pemanasan ini yaitu serbuk kulit durian yang dipanaskan akan membentuk amilum, karena amilum tidak dapat larut dalam air dingin, sehingga perlu dipanaskan dengan air dan akan menjadi larutan yang mengental. Proses hidrolisis ini ditunjukkan pada Gambar 6.2.



Gambar 6.2. Proses Pemanasan Tepung Kulit Durian
Dari sebanyak 30 gram tepung kulit durian setelah melalui proses pemanasan dihasilkan rendemen sebesar 24,0674 gram sehingga zat pati atau amilum yang terpisah sebesar 5,9326 gram atau 19,7753 % dari berat awal. Hasil pemisahan zat pati atau amilum ditunjukkan pada Gambar 6.3.



Gambar 6.3. Tepung Kulit Durian Hasil Penghilangan Amilum

Delignifikasi

Setelah pemisahan zat pati atau amilum dari serbuk kulit durian, kemudian dilanjutkan dengan proses delignifikasi. Delignifikasi merupakan proses yang bertujuan melarutkan komponen lain dari bahan baku selain selulosa, melalui delignifikasi diharapkan komponen seperti hemiselulosa, lignin, selulosa, dan komponen lain dapat larut sehingga diperoleh selulosa murni dari serbuk kulit durian. Delignifikasi menyebabkan terputusnya rantai polimer yang panjang menjadi menjadi rantai yang lebih pendek, meningkatkan daerah *amorf* atau menurunkan derajat kristalinitas dan memisahkan bagian lignin dari selulosa.

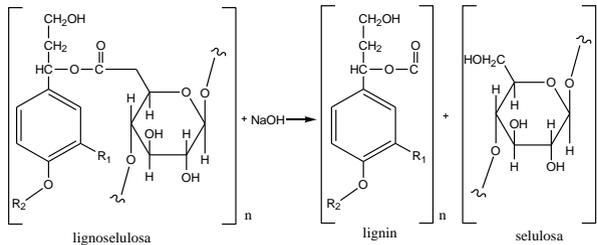
Proses delignifikasi dilakukan dengan merendam tepung kulit durian dengan larutan basa yaitu NaOH 10% selama 24 jam. Reaksi antara NaOH dengan lignoselulosa menghasilkan reaksi saponifikasi ikatan ester intermolekul yang menghubungkan lignin secara tautan silang. Reaksi saponifikasi ini menyebabkan putusnya ikatan kompleks antara lignin dan karbohidrat. Penggunaan NaOH tidak hanya mempengaruhi lignin, tetapi hemiselulosa dan selulosa yaitu terjadinya degradasi parsial dan hilangnya gugus asetil dan asam uronat pada hemiselulosa, sedangkan pada selulosa akan terjadi penggelembungan (*swelling*) dan berkurangnya kristalinitas serta bertambahnya ukuran pori (Septevani *et al.*, 2018). Pada Gambar 6.4 ditunjukkan proses delignifikasi tepung kulit durian menggunakan larutan NaOH.



Gambar 6.4. Proses Delignifikasi Tepung Kulit Durian

Ion OH^- dari NaOH akan memutuskan ikatan-ikatan dari struktur dasar lignin sedangkan ion Na^+ akan berikatan dengan lignin membentuk natrium fenolat. Garam fenolat ini bersifat mudah larut. Lignin yang terlarut ditandai dengan warna hitam pada larutan yang disebut lindi hitam (*black liquor*). Pada Gambar 6.5 ditunjukkan mekanisme reaksi pemutusan lignin dan selulosa menggunakan larutan NaOH. Lindi hitam merupakan hasil samping yang dihasilkan dari proses delignifikasi, di dalamnya mengandung lignin, hemiselulosa, dan sisa NaOH dari proses delignifikasi. Lindi hitam berbau tidak sedap karena mengandung senyawa kimia seperti metil merkaptan, dimetil sulfida ($(\text{CH}_3)_2\text{S}$) dan dimetil disulfida ($\text{CH}_3\text{-S-S-CH}_3$). Gas-gas ini terbentuk oleh reaksi

pemutusan ikatan metil aril eter pada salah satu unit penyusun lignin (Muryanto *et al.*, 2016), hasil delignifikasi ditunjukkan pada Gambar 6.6.



Gambar 6.5. Mekanisme Reaksi Pemutusan Lignoselulosa Menjadi Lignin dan Selulosa dengan Basa Natrium Hidroksida (NaOH)



Gambar 6.6. Hasil Delignifikasi dengan NaOH, (a) Sebelum Dihaluskan, (b) Setelah Dihaluskan

Rendemen yang dihasilkan dari proses delignifikasi masih berwarna hitam yang menandakan masih terdapat kandungan pengotor sisa delignifikasi didalamnya sehingga perlu diproses ke tahap *bleaching* untuk mendapatkan selulosa murni.

Bleaching

Proses *bleaching* dilakukan pada residu hasil dari proses delignifikasi. Tujuannya yaitu untuk menghilangkan sisa pengotor dari reaksi samping, meningkatkan kecerahan (*brightness*), dan meningkatkan kemurnian kadar selulosa. Endapan hasil proses delignifikasi berwarna coklat, warna coklat tersebut diakibatkan

oleh zat pengotor yang masih tersisa sehingga dibutuhkan proses *bleaching*/pemutihan untuk membersihkan dan memutihkan selulosa yang masih berwarna coklat. Proses pemutihan kali ini dilakukan dengan perendaman selulosa menggunakan hidrogen peroksida (H_2O_2) selama 24 jam. Hidrogen peroksida dipilih sebagai reagen pemutih karena mampu larut dalam air dengan baik, aman, dan ramah lingkungan. Hidrogen peroksida mempunyai kemampuan melepaskan oksigen yang cukup kuat dan mudah larut dalam air, proses *bleaching* ditunjukkan oleh Gambar 6.7.

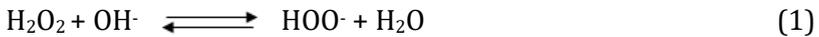


Gambar 6.7. Proses *Bleaching Crude* Selulosa dengan Larutan H_2O_2 10% Selama 24 Jam

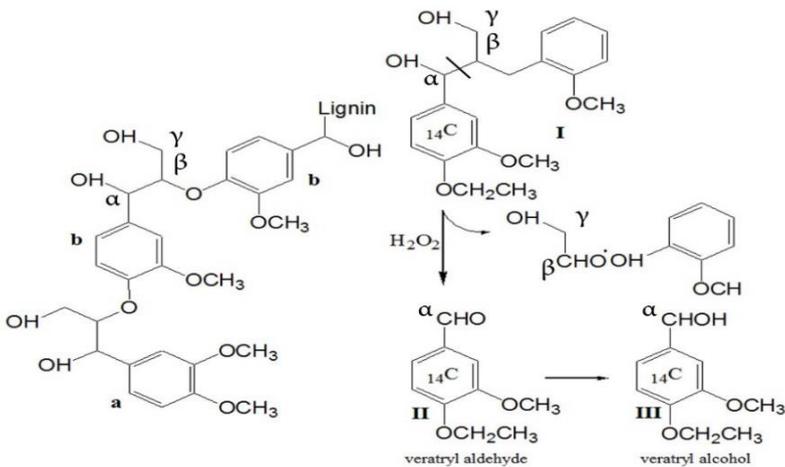
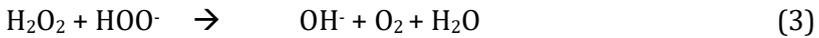
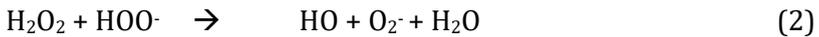
Pemutihan dengan hidrogen peroksida akan mengeliminasi gugus karbonil terkonjugasi dalam struktur lignin oleh anion *perhydroxyl* ($HOO\cdot$) dan penghilangan lignin total melalui degradasi/delignifikasi dan *bleaching*, melalui reaksi dengan HO dan $O_2\cdot$ radikal. Radikal bereaksi dengan cincin aromatik lignin dalam dekomposisi oksidatif, yang meningkatkan hidrofilitas molekuler dan kelarutan lignin. Faktor – faktor yang mempengaruhi *bleaching*/pemutihan antara lain: kondisi proses (dosis, waktu, pH, dan suhu), jenis kayu dan kandungan lignin. Reaksi pemutihan dengan hidrogen peroksida akan lebih efektif dalam suasana basa antara pH 8-12, semakin basa larutan maka jumlah gugus anion ($HOO\cdot$) yang terbentuk tiap waktu semakin banyak, sehingga reaksi yang terjadi antara gugus anion ($HOO\cdot$)

dengan gugus kromofor pada lignin semakin cepat (Syahroni, 2011), semakin besar konsentrasi larutan H_2O_2 maka semakin banyak ion perhidroksil ($HOO\cdot$) dalam larutan yang berperan sebagai oksidator dalam proses pemutihan. Anion perhidroksil ($HOO\cdot$) adalah bahan yang aktif bereaksi dengan struktur karbonil pada lignin sehingga lignin terpecah-pecah yang mengakibatkan warna *pulp* menjadi lebih putih. Dalam kondisi basa H_2O_2 terurai menurut persamaan 1 sampai 3.

Kesetimbangan antara H_2O_2 dan $HOO\cdot$ dalam kondisi alkali :



Penguraian katalis basa dan pembentukan radikal :



Gambar 6.8. Proses Penguraian Lignin oleh H_2O_2 (Srebotnik *et al.*, 1994).

Hidrogen peroksida mengoksidasi unit non-fenolik lignin melalui pelepasan satu elektron dan membentuk radikal kation yang kemudian terurai secara kimiawi. Unit non-fenolik merupakan penyusun sekitar 90% struktur lignin. Pada Gambar 6.8 ditunjukkan proses penguraian lignin oleh H_2O_2 . Hidrogen peroksida dapat memutus ikatan $C_\alpha-C_\beta$ molekul lignin dan mampu membuka cincin lignin. Hidrogen peroksida mengkatalis suatu

oksidasi senyawa aromatik non-fenolik lignin membentuk radikal kation aril. Hidrogen mengkatalis oksidasi senyawa lignin non-fenolik dengan perubahan *veratryl alcohol* menjadi *veratryl aldehyde* (Jayanudin, 2009). Setelah melalui proses *bleaching* kemudian dimasukkan dalam oven sampai menjadi serbuk selulosa kulit durian (SKD). Hasil dari proses delignifikasi tepung kulit durian menjadi selulosa tepung kulit durian ditunjukkan pada Gambar 6.9.



Gambar 6.9. Hasil *Bleaching* dengan Larutan H_2O_2 10%

Hasil dari proses delignifikasi dan bleaching tepung kulit durian ini didapatkan koagulan selulosa kulit durian (SKD), rendemen yang berupa selulosa murni sebesar 15,7096 gram atau 52,365 % dari berat awal tepung kulit durian, sedangkan lignin dan hemiselulosa yang terpisahkan sebesar 8,3578 atau 27,85 % dari berat awal. Hasil proses hidrolisis tepung kulit durian ini ditunjukkan pada Tabel 6.2.

Tabel 6.2. Hasil Proses Delignifikasi Kulit Durian

Senyawa	Presentasi (%)
Amilum/Zat Pati	19.77
Hemiselulosa dan Lignin	27.86
Selulosa	52.37

Preparasi Selulosa Kulit Durian-Glutaraldehida

Preparasi selulosa kulit durian ini bertujuan untuk mengetahui keefektifan dari selulosa kulit durian (SKD) dengan

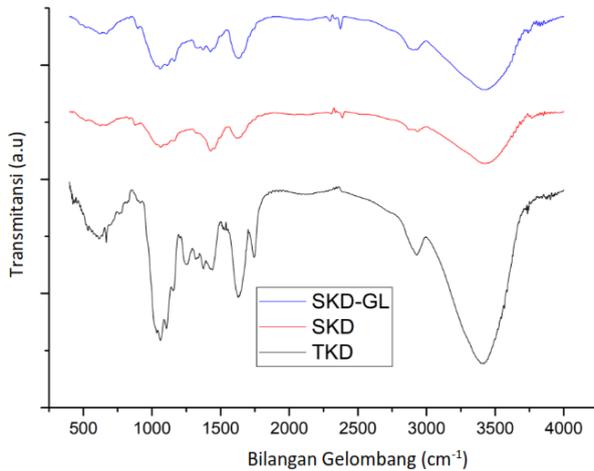
glutaraldehida sebagai koagulan alami. Preparasi dilakukan dengan mencampurkan selulosa kulit durian dengan NaOH, fungsi NaOH ini untuk memberikan suasana basa pada saat preparasi, kemudian ditambahkan glutaraldehida dan NaCl. Campuran tersebut kemudian diaduk selama 5 jam sampai homogen, setelah itu dikeringkan dalam oven. Dari hasil preparasi ini di hasilkan koagulan dari selulosa kulit durian yang ditunjukkan pada Gambar 6.10. Setelah itu dilakukan karakterisasi FTIR yang berfungsi untuk melihat puncak pada bilangan gelombang TKD, SKD, SKD-glutaraldehida dan karakterisasi *zeta potensial* untuk mengetahui muatan listrik di dalam TKD, SKD, SKD-glutaraldehida yang berpengaruh terhadap terjadinya proses flokulasi.



Gambar 6.10. Hasil Preparasi SKD dengan Glutaraldehida

Analisis FTIR (Fourier Transform Infrared)

Analisis FTIR (*Fourier Transform Infrared*) berfungsi untuk mengetahui adanya perubahan gugus fungsi yang terdapat pada tepung kulit durian, selulosa kulit durian dan preparasi selulosa kulit durian dilihat dari perubahan *peak-peak* yang muncul pada panjang gelombang tertentu. Hasil FTIR disajikan pada Gambar 6.11.



Gambar 6.11. Spektrum FTIR: Tepung Kulit Durian (TKD), Koagulan SKD dan Koagulan SKD-Glutaraldehida

Pada Tabel 6.3 ditunjukkan analisis gugus fungsi FTIR TKD, koagulan SKD dan koagulan SKD-glutaraldehida. Berdasarkan hasil analisis gugus fungsi pada Tabel 6.3 diketahui bahwa gugus hidroksil -OH yang terlihat pada bilangan gelombang 3200-3600 cm^{-1} pada TKD, SKD dan SKD-glutaraldehida merupakan selulosa yang tidak tersubstitusi oleh gugus asetil. Gugus -OH pada kisaran bilangan tersebut juga menunjukkan adanya ikatan hidrogen intramolekular dan merupakan gugus utama pada selulosa karena selulosa merupakan rantai panjang dari β -glukosa (Lestari, 2014). Namun masih terlihat puncak serapan pada bilangan gelombang 1744,05 cm^{-1} pada tepung kulit durian yang menunjukkan masih terdapatnya kandungan lignin dan hemiselulosa di dalamnya, sedangkan pada spektrum FTIR SKD dan SKD-glutaraldehida tidak terlihat puncak vibrasi C=O sehingga bisa dipastikan bahwa lignin dan hemiselulosa sudah tidak ada pada sampel SKD dan SKD-glutaraldehida.

Tabel 6.3. Analisis Gugus Fungsi FTIR Tepung Kulit Durian (TKD), Selulosa Kulit Durian (SKD) dan SKD-Glutaraldehida

Daerah Serapan	Bilangan Gelombang (cm^{-1})				Gugus Fungsi
	Selulosa Komersil	TKD	SKD	SKD-GL	
3200-3600	3348,2	3421,23	3435,03	3434,63	vibrasi ulur -OH
2850-3000	2900,94	2929,58	2935,1	2910,7	vibrasi ulur -CH
1690-1760	-	1744,05	-	-	vibrasi ulur C=O
1620-1650	1635,64	1629,21	1621,2	1629,94	Vibrasi H-O-H
1210-1320	-	-	-	-	vibrasi C-O asetil
1033.85-1159.22	1033,85	1062,49	1064,3	1059,85	vibrasi C-O-C
800-950	894,97	-	878,7	893,35	Vibrasi β -glikosidik

Bilangan gelombang pada daerah 2850-3000 cm^{-1} menunjukkan terdapatnya gugus fungsional -CH pada alkana yang merupakan kerangka dari selulosa. Gugus C-H ulur ini berasal dari gugus metil pada rantai selulosa. Area vibrasi uluran pada bilangan gelombang 1620-1649 cm^{-1} menunjukkan ikatan H-O-H yang menyerap air. Bilangan gelombang 1033,85-1159,22 cm^{-1} merupakan area vibrasi gugus C-O-C yang merupakan penyusun bahan lignoselulosa. Area penyerapan ikatan selulosa β -glikosidik akan tampak pada bilangan gelombang 800-950 cm^{-1} . Secara keseluruhan hasil spektrum infra merah pada koagulan SKD maupun koagulan SKD-glutaraldehida menunjukkan bahwa dalam proses isolasi selulosa kulit durian menghasilkan gugus hidroksil (-OH) dan karboksil (-CH) yang sudah sama dengan hasil dari spektrum selulosa komersiel. Proses isolasi selulosa juga telah berhasil ditandai dengan tidak munculnya gugus (C=O) pada SKD maupun SKD-glutaraldehida, kandungan lignin dan hemiselulosa berhasil dihidrolisis sehingga didapatkan selulosa murni.

Analisis Zeta Potensial

Pengukuran *zeta potensial* dilakukan setelah pembuatan tepung kulit durian (TKD) yang menjadi koagulan selulosa kulit durian (SKD) dan SKD-glutaraldehida. Tujuan pengukuran nilai *zeta potensial* pada koagulan SKD dan SKD-glutaraldehida untuk melihat kemampuan terjadinya flokulasi yang akan terjadi terhadap media limbah cair tepung pati aren nantinya. Hasil dari data yang didapatkan pada pengukuran *zeta potensial* dapat dilihat pada Tabel 6.4.

Tabel 6.4. Hasil Pengukuran *Zeta Potensial* pada TKD, SKD, SKD-Glutaraldehida

Komposisi	<i>Zeta Potensial</i> (mV)
TKD	-0.1
SKD	-1.3
SKD-glutaraldehida	0.2

Pengukuran komposisi *zeta potensial* dalam TKD, SKD dan SKD-glutaraldehida dilakukan menggunakan alat *Particle Size Analyzer* (PSA), sampel harus dalam keadaan koloid, sehingga komposisi awal dari TKD, SKD dan SKD-glutaraldehida yang berupa padatan perlu ditambahkan larutan NaOH 50% untuk menghasilkan bentuk koloid supaya bisa diukur menggunakan alat tersebut. Berdasarkan data yang didapatkan hasil uji *zeta potensial* memperlihatkan komposisi TKD sebesar -0,1 mV sedangkan dalam koagulan SKD sebesar -1,3 mV dan koagulan SKD-glutaraldehida sebesar 0.2 mV. Menurut pengertian teori *zeta potensial* dikatakan semakin tinggi nilai potensial zeta, makin semakin kecil terjadinya flokulasi atau peristiwa penggabungan koloid dari yang kecil menjadi besar (Khoshnevisan dan Barkhi, 2015). Pada sistem koloid, nilai potensial zeta yang tinggi akan memberikan stabilitas larutan untuk menolak agregasi. Sebaliknya, ketika nilai potensial zeta rendah maka daya tarik menarik muatan antar partikel dispersi melebihi daya tolak menolaknya hingga terjadi flokulasi. Koloid dengan dengan nilai potensial zeta tinggi adalah elektrik stabil, sedangkan koloid dengan nilai potensial rendah cenderung

akan mengental/flokulasi, bisa dikatakan bahwa koagulan SKD akan lebih besar proses flokulasi dibandingkan dengan SKD-glutaraldehida nantinya karena nilai potensial zeta dalam koagulan SKD lebih rendah dibandingkan dengan SKD-glutaraldehida sehingga menyebabkan gaya tarik menarik antara partikel dalam limbah yang bermuatan positif akan tertarik dengan koagulan yang bermuatan negatif dan akan membentuk flok yang kemudian akan mengendap.

Pengujian SKD dan SKD-glutaraldehida terhadap Air Limbah Parameter Awal Limbah

Pengambilan sampel limbah dilakukan di Dukuh Bendo, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten, limbah yang diambil merupakan limbah cair pengolahan tepung pati aren yang biasanya langsung di buang di sungai. Pengamatan visual dari limbah cair tepung pati aren ditampilkan pada Gambar 6.12.



Gambar 6.12. Pengambilan Limbah Cair Tepung Pati Aren

Berdasarkan pengamatan awal yang dilakukan dari limbah cair tepung pati aren yang diambil di salah satu industri UMKM pembuatan tepung pati aren yang nantinya dijadikan sebagai bahan baku pembuatan mie soun di Dukuh Bendo, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten. Di dalam proses pembuatan tepung yang dihasilkan dari batang pohon aren menghasilkan 4 luaran antara lain: limbah padat kulit batang aren, ampas batang aren, limbah cair dan tepung pati aren. Selama ini belum maksimal dalam

pemanfaatan limbah yang dihasilkan dalam proses pembuatan tepung pati aren ini, limbah yang dihasilkan hanya dibuang begitu saja baik limbah padat maupun limbah cair sehingga menyebabkan pencemaran lingkungan. Hasil pengukuran awal didapatkan nilai COD 1840 mg/L dan nilai BOD₅ 570,4 mg/L. Dari hasil yang didapatkan kandungan COD dan BOD₅ pada limbah cair tepung pati aren belum sesuai dengan ambang batas limbah cair yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia nomor 5 tahun 2014 tentang baku mutu air limbah yaitu kandungan COD sebesar 300 mg/L dan BOD₅ sebesar 150 mg/L.

Jar Test

Aplikasi koagulan SKD dan koagulan SKD-glutaraldehida dengan limbah cair tepung pati aren adalah dengan proses *jar test*, koagulan sintetik PAC sebagai koagulan pembanding dari koagulan SKD dan koagulan SKD-glutaraldehida, *jar test* berfungsi untuk mengetahui dosis optimum koagulan dari limbah tepung kulit durian dengan proses koagulasi flokulasi terhadap limbah cair tepung pati aren. *Jar test* dilakukan dengan pengadukan cepat 200 rpm selama 2 menit dan pengadukan lambat 60 rpm selama 20 menit setelah itu dilakukan pengendapan selama 30 menit. Fungsi dari pengadukan cepat yaitu sebagai proses koagulasi agar diperoleh campuran yang merata distribusi koagulannya sehingga proses pembentukan gumpalan atau flok dapat terjadi secara merata pula. Proses flokulasi dilakukan setelah proses koagulasi pada proses koagulasi kekokohan partikel koloid ditiadakan sehingga terbentuk flok-flok lembut yang kemudian dapat disatukan melalui proses flokulasi. Setelah flokulasi kemudian dilakukan proses pengendapan, flok-flok yang terbentuk akan mengendap ke bawah. Variasi dosis PAC, SKD dan SKD-glutaraldehida yang ditambahkan dalam *jar test* adalah 2000, 2500, 3000, dan 3500 mg/L. Dosis optimum PAC, SKD dan SKD-glutaraldehida ditentukan dari hasil proses *jar test* dalam menurunkan konsentrasi COD dan BOD₅ pada limbah cair tepung pati aren. Proses *jar test* ditunjukkan pada Gambar 6.13. Setelah proses *jar test* dihasilkan hasil koagulasi-flokulasi menggunakan

PAC, SKD dan SKD-glutaraldehyda seperti dalam Gambar 6.14. Dilihat dari penampilan fisiknya perbandingan penurunan kekeruhan dari limbah awal tepung kulit durian menggunakan koagulan sintetik PAC masih baik dibandingkan dengan menggunakan koagulan SKD maupun SKD-glutaraldehyda.



Gambar 6.13. Proses *Jar Test*



(a)



(b)



(c)



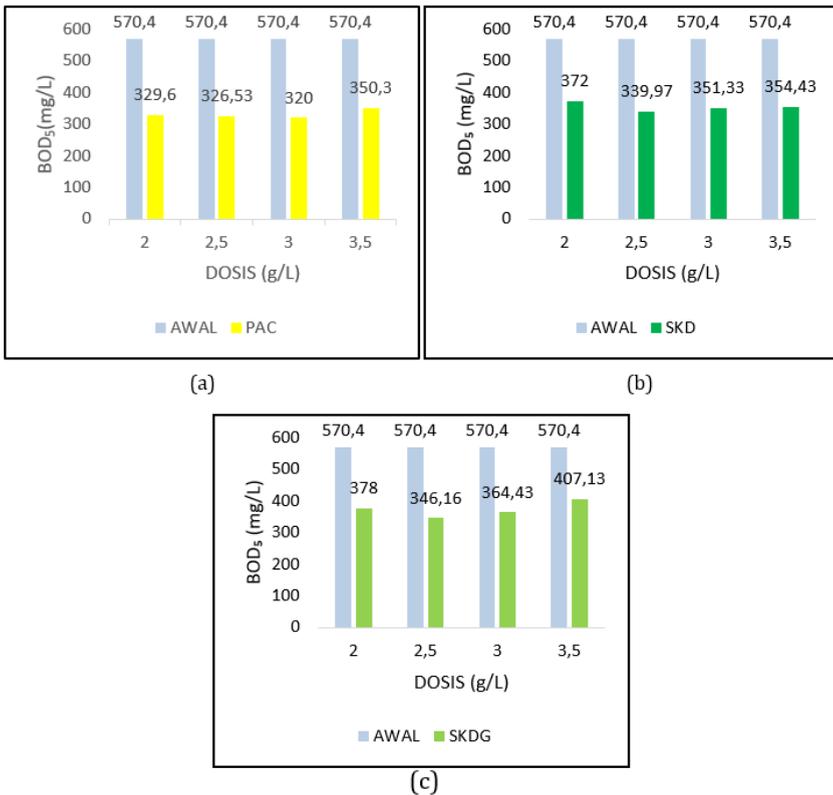
(d)

Gambar 6.14. Hasil *Jar Test* (a) Limbah Awal (b) Koagulan PAC
Koagulan SKD (d) Koagulan SKD-Glutaraldehyda

Analisis BOD₅

Hasil aplikasi *jar test* menggunakan koagulan PAC, koagulan SKD dan koagulan SKD-glutaraldehyda sebagai koagulan terhadap limbah cair tepung pati aren kemudian dilakukan analisis

kandungan BOD_5 dalam limbah cair tersebut sesuai dengan standar SNI 6989.72:2009. Berdasarkan hasil analisis BOD_5 pada Gambar 6.15 koagulan PAC, koagulan SKD dan SKD-glutaraldehida bahwa pemakaian dosis paling optimum pada PAC yaitu 3 gr/L, dari limbah awal 570,4 mg/L mampu menurunkan menjadi 320 mg/L atau sebesar 43,89%, pada SKD dosis paling optimum yaitu 2.5 gr/L dengan nilai 339.97 mg/L dan dapat menurunkan nilai BOD_5 dari limbah awal sebesar 40,398% dan pada SKD-glutaraldehida dosis paling optimum yaitu 2.5 gr/L dengan nilai 346,16 dan dapat menurunkan nilai BOD_5 dari limbah awal sebesar 39,313%.



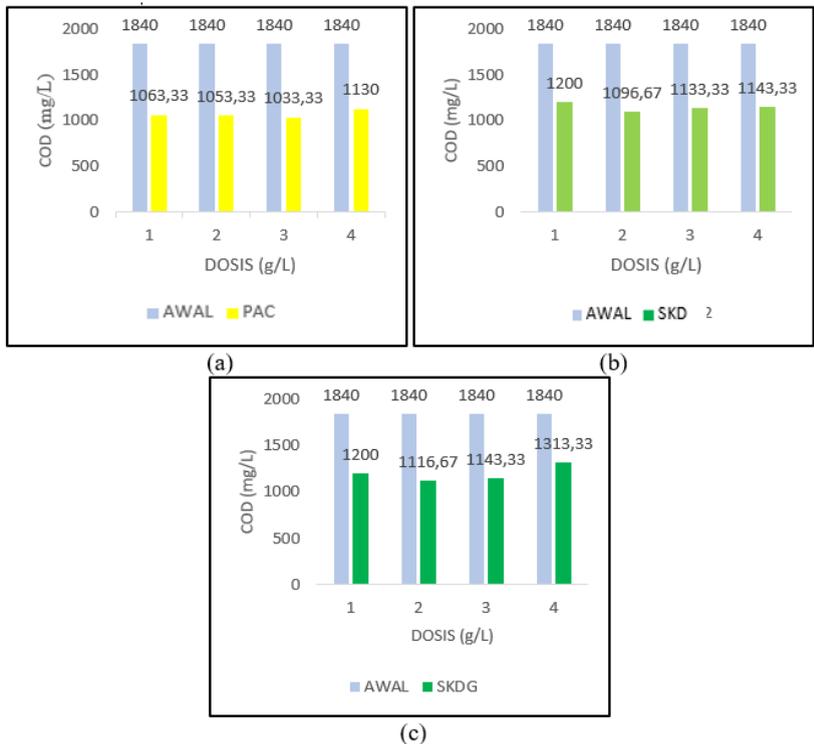
Gambar 6.15. Nilai BOD_5 (a) Koagulan PAC (b) Koagulan SKD; (c) Koagulan SKD-glutaraldehida

Berdasarkan hasil yang didapatkan untuk hasil dari efektifitas koagulan SKD dan koagulan SKD-glutaraldehida untuk menurunkan kadar BOD_5 pada limbah cair tepung pati aren tidak

terlalu jauh berbeda dengan penurunan dari koagulan sintetik dari PAC sebagai koagulan pembanding.

Analisis COD

Hasil aplikasi *jar test* dari koagulan PAC, koagulan SKD dan koagulan SKD-glutaraldehyda sebagai koagulan untuk penurunan kadar COD pada limbah cair tepung pati aren kemudian dilakukan analisis COD terhadap hasil *jar test* secara refluks tertutup menggunakan spektrofotometri sesuai dengan standar SNI 6989.2:2009.



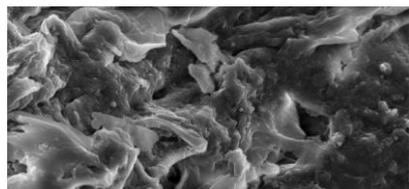
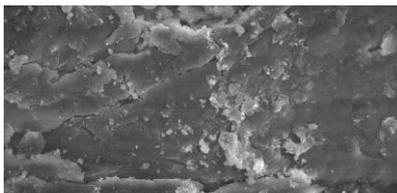
Gambar 6.16. Nilai COD (a) Koagulan PAC; (b) Koagulan SKD (c) Koagulan SKD-glutaraldehyda

Berdasarkan hasil analisis COD pada Gambar 6.16 koagulan PAC, koagulan SKD dan koagulan SKD-glutaraldehyda didapatkan bahwa pemakaian dosis paling optimum pada koagulan PAC yaitu

3 gr/L dengan nilai 1033,33 mg/L dari kandungan awal sebesar 1840 mg/L dan mampu menurunkan nilai COD dari limbah awal sebesar 43,84%, pada koagulan SKD dosis paling optimum yaitu 2.5 gr/L dengan nilai 1096,67 mg/L dari kandungan awal sebesar 1840 mg/L dan dapat menurunkan nilai COD dari limbah awal sebesar 40,398% dan pada koagulan SKD-glutaraldehida dosis paling optimum yaitu 2.5 gr/L dengan nilai 1116,67 mg/L dari kandungan awal sebesar 1840 mg/L dan dapat menurunkan nilai COD dari limbah awal sebesar 39,311%. Berdasarkan hasil yang didapatkan bahwa dari efektifitas koagulan SKD sebesar 40,398% dan SKD-glutaraldehida sebesar 39,311% dalam penurunan kadar COD pada limbah cair tepung pati aren, hasil ini tidak terlalu jauh berbeda dengan penurunan dari koagulan sintetik dari PAC sebesar 43,84% sebagai koagulan pembanding dalam aplikasinya terhadap penurunan kandungan COD dalam limbah cair tepung pati aren.

Morfologi Kulit Durian dan Flok

Setelah dilakukan uji koagulasi dan flokulasi koagulan SKD dan SKD-glutaraldehida terhadap limbah cair tepung pati aren, selanjutnya yaitu analisis SEM dari koagulan yang paling efektif dalam menurunkan kadar COD dan BOD₅ terhadap limbah cair tepung pati aren. Berdasarkan hasil uji didapatkan koagulan yang paling efektif dalam menurunkan kadar COD dan BOD₅ pada limbah cair tepung pati aren yaitu koagulan SKD dengan dosis 2500 mg/L. Tujuan dari analisis SEM yaitu untuk mengetahui morfologi koagulan dari tepung kulit durian dan flok yang terbentuk, selain itu dilakukan pula uji EDX untuk mengetahui komposisi dalam koagulan dan flok. Hasil uji SEM-EDX dapat dilihat pada Gambar 6.17.



(a) (b)

Gambar 6.17. Morfologi SEM (a) Tepung Kulit Durian (b) Flok

Sebelum koagulasi, bentuk morfologi dari tepung kulit durian cenderung kecil dan terpisah pisah, bentuk ini mengalami perubahan setelah proses koagulasi. Flok yang terbentuk mempunyai tekstur yang lebih kasar, tidak beraturan, dan mempunyai ukuran yang lebih besar. Perubahan ini terjadi karena partikel koloid dalam koagulan mampu mengikat partikel-partikel pada limbah cair tepung pati aren sehingga menjadikan perubahan morfologi menjadi lebih besar. Komposisi tepung kulit durian dan koloid yang terjebak dalam flok dapat dilihat pada Tabel 6.5.

Tabel 6.5. Komposisi Unsur Tepung Kulit Durian dan Flok

Senyawa	Tepung Kulit Durian (% berat)	Flok (% berat)
Karbon (C)	90,96	92,91
Aluminium (Al)	0,95	1,37
Kalsium (Ca)	8,09	2,90
Silika (Si)	-	2,83

Berdasarkan Tabel 6.5 dapat dilihat bahwa komposisi utama dalam tepung kulit durian adalah alumina, karbon dan kalsium oksida. Komposisi utama dalam flok didominasi oleh alumina, karbon dan silika dioksida. Meningkatnya kandungan unsur C pada flok yang dihasilkan yaitu dari tepung kulit durian awal 90,96% menjadi 92,91% menandakan bahwa koagulan tepung kulit durian mampu mengikat unsur C pada limbah sebesar

1,95 %. Meningkatnya kandungan unsur Al pada flok yang dihasilkan yaitu dari tepung kulit durian awal 0,95% menjadi 1,37% menandakan bahwa koagulan mampu mengikat unsur Al dalam limbah sebesar 0,42%, kemudian munculnya unsur Si dalam flok menandakan bahwa flok mampu mengikat unsur Si yang terdapat dalam limbah cair tepung pati aren. Hal ini menjelaskan bahwa koagulan tepung kulit durian mampu mengikat unsur C, unsur Al dan unsur Si sebagai komponen utama dalam limbah cair tepung pati aren.

SIMPULAN

1. Preparasi koagulan berbasis selulosa kulit durian dan glutaraldehida menghasilkan koagulan SKD dan SKD-Glutaraldehida
2. Hasil spektra infra merah (FTIR) dari TKD, SKD dan SKD-glutaraldehida menunjukkan adanya gugus -OH (hidroksil), -CH (karboksil) sebagaimana spektra selulosa komersial. Hasil uji *zeta potensial* memperlihatkan komposisi TKD sebesar -0,1 mV sedangkan dalam koagulan SKD sebesar -1,3 mV dan koagulan SKD-glutaraldehida sebesar 0,2 mV. Berdasarkan bentuk morfologi SEM dari koagulan tepung kulit durian memperlihatkan ukuran yang kecil, sedangkan bentuk morfologi dari flok berukuran besar dan saling terikat. Sehingga bisa dikatakan bahwa koagulan mampu mengikat partikel-partikel dalam limbah cair tepung pati aren sehingga membentuk flok.
3. Koagulan selulosa kulit durian mampu menurunkan BOD₅ 40,398% sedangkan tingkat penurunan COD mencapai 40,398% pada dosis 2,5 g/L dari kandungan limbah awal. Untuk koagulan SKD-glutaraldehida mampu menurunkan BOD₅ 39,31% dan 39,31% dari kandungan limbah awal pada dosis yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- Ana, D., Pampang, H., & Yunita, L., 2015. Potensi Limbah Kulit Durian Sebagai Bahan Baku Pembuatan Energi Alternatif. *Senatek*, 2015, pp.843–850.
- Abdillah, A.I., Darjito., & Khunur, M.M., 2015. Pengaruh pH dan Waktu Kontak pada Adsorpsi Ion Logam Cd²⁺ Menggunakan Adsorben Kitin Terikat Silang Glutaraldehid. *Kimia Student*, 1(1), pp.826–832
- Firdayati, M., & Handajani, M., 2005. Jurnal Studi Karakteristik Dasar Limbah Industri Tepung Aren. *Infrastruktur dan Lingkungan Binaan*, 1(2), pp.22–29.
- Hendrawati, D.S.N., 2013. Penggunaan Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica L*) dan Biji Kecipir (*Psophocarpus tetragonolobus L*) Sebagai Koagulan Alami Dalam Perbaikan Kualitas Air Tanah. *Valensi*, 3(1), pp.23-34.
- Hidayat, T.A., 2015. Pemanfaatan Limbah Selulosa Dalam Kulit Durian (*Durio Zibethinus*) Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bioetanol Melalui Proses Fermentasi *Saccharomyces cerevisiae*. *Skripsi*. Institut Agama Islam Negeri Palangka Raya.
- Huijgen, W., Harmsen, P., Bermudez, L., & Bakker, R., 2010. Literature Review of Physical and Chemical Pretreatment Processes for Lignocellulosic Biomass. *ECN Biomass, Coal and Environmental Research*, 2010.
- Khoshnevisan, K., & Barkhi, M., 2015. Information about Zeta Potential. *Thesis*. Institute of Agricultural Biotechnology, Nano Departement, karaj, Tehran, Iran.
- Lestari, P., Titi, N.H., Siti, H.I.L., & Djagal, W.M., 2014. *Development Technology Creation Biopolymers High Economic Value of Waste Corn Plant (Zea mays) For Food Industry: CMC (Carboxy Methyl Cellulose)*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Muryanto, M., Sudiyani, Y., & Abimanyu, H., 2016. Optimasi Proses Perlakuan Awal NaOH Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk menjadi Bioetanol. *Jurnal Kimia Terapan Indonesia*, 18(01), pp.27–35.
- Novia, U.I., & Windiyati, L., 2014. Pembuatan Bioetanol Dari Sekam Padi Menggunakan Kombinasi Soaking in Aqueous Ammonia

- (SAA) Pretreatment–Acid Pretreatment–Hidrolisis–Fermentasi. *Jurnal Teknik Kimia*, 20(1), pp.46–53.
- Nur'ain, N., & Ridhay, A., 2017. Optimasi Kondisi Reaksi Untuk Sintesis Karboksimetil Selulosa (CMC) dari Batang Jagung (*Zea Mays L*). *Kovalen*, 3(2), pp.112–121.
- Septevani, A. A., Burhani, D., & Sudiarmanto, S., 2018. Pengaruh Proses Pemutihan Multi Tahap Serat Selulosa Dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 40(2), pp.71–78.
- Srebotnik E., Jensen, K.A., & Hammel, K.E., 1994. Fungal Degradation of Recalcitrant Nonphenolic Lignin Structure without Lignin Peroxidase. *Proc Natl Acad Sci*, 91, pp.12794–12797
- Syahroni, A., 2011. Studi Proses Bleaching Serat Eceng Gondok Sebagai Reinforced Fiber. *Thesis*. Pascasarjana, Universitas Diponegoro.
- Tan, Y.L., Abdullah, A.Z., & Hameed, B.H., 2017. Fast Pyrolysis of Durian (*Durio zibethinus L*) Shell in a Drop-Type Fixed Bed Reactor: Pyrolysis Behavior and Product Analyses. *Bioresource Technology*, 243, pp.85–92.
- Yusoff, M.S., Aziz, H.A., Zamri, M.F.M.A., Suja', F., Abdullah, A.Z., & Basri, N.E.A., 2018. Floc Behavior dan Removal Mechanisms of Cross-Linked Durio Zibethinus Seed Starch as a Natural Flocculant for Landfill Leachate Coagulation-Flocculation Treatment. *Waste Management*, 74, pp.362–372.

BAB VII. *BIOFERTILIZER* BERBASIS *BIOCHAR* UNTUK REMEDIASI LAHAN PERTANIAN INDONESIA

Sri Wahyuni*, Sri Kadarwati, Risyia Aprilia

Program Studi Kimia FMIPA, Universitas Negeri Semarang

sriwahyunikimia@mail.unnes.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.15294/ka.v1i2.140>

ABSTRAK

Remediasi lahan pertanian di Indonesia menjadi isu yang sangat penting untuk diteliti dan dikembangkan. Penggunaan tanah dalam jangka panjang dan metode pengelolaan yang kurang tepat disinyalir menjadi penyebab utama terus turunnya kualitas tanah pada lahan pertanian dari tahun ke tahun. *Biofertilizer* berbasis bahan alam dapat dipreparasi melalui proses pirolisis biomassa yang kemudian dikenal luas sebagai *biochar*. Penggunaan *biochar* baik secara individual maupun bersamaan dengan jenis pupuk lain dilaporkan mampu memperbaiki kualitas tanah dan meningkatkan produktivitas lahan pertanian, dibandingkan dengan pengelolaan tanah tanpa penambahan *biochar*. Bab ini mengulas kondisi lahan pertanian di Indonesia dan remediasinya menggunakan *biochar* untuk perbaikan kualitas tanah dan peningkatan produktivitas lahan pertanian pada budidaya tanaman tertentu.

Kata kunci: *biochar*; *biofertilizer*; lahan pertanian.

PENDAHULUAN

Upaya untuk mempertahankan tingkat produksi tanaman pangan dapat ditempuh melalui dua pendekatan, yaitu perluasan area pertanian/perkebunan dan peningkatan produktivitas. Perluasan area pertanian/perkebunan dapat dilakukan dengan membuka lahan pertanian baru, sedangkan peningkatan produktivitas dapat dilakukan antara lain melalui perbaikan sifat-

sifat tanah (sifat fisik, kimia, dan biologi tanah). Pada umumnya lahan kering yang sudah dibudidayakan akan mengalami penurunan kualitas atau terdegradasi akibat penggunaan dalam jangka panjang atau pengelolaan yang tidak tepat. Upaya memperbaiki kualitas lahan dapat dilakukan dengan memanfaatkan pupuk kandang/kompos namun kelemahannya adalah dibutuhkan jumlah yang cukup besar dan kontinyu, sehingga pengadaan bahan tersebut kadang-kadang kurang praktis untuk lahan yang luas.

Biochar adalah bahan berbasis karbon (C) yang dikenal sebagai arang dan telah dikenal masyarakat Indonesia sejak jaman dahulu. *Biochar* atau arang memiliki potensi yang menjanjikan untuk memulihkan kualitas tanah yang terkuras unsur haranya akibat penggunaan dalam jangka panjang sebagai lahan perkebunan atau pertanian. *Biochar* dapat meningkatkan ketahanan pangan karena potensinya dalam memperbaiki kembali unsur hara yang menipis dan mengembalikan kualitas tanah sehingga lebih lama dapat digunakan sebagai lahan pertanian atau perkebunan. *Biochar* dibuat melalui perlakuan termal biomassa dalam tanur bersuhu tinggi melalui proses pembakaran tidak langsung, sebuah proses yang disebut sebagai pirolisis. Pirolisis dapat dilakukan dengan alat pembakaran atau pirolisator dengan suhu 250-350 °C selama 1-3,5 jam, bergantung pada jenis biomassa dan alat pembakaran yang digunakan. Kedua jenis pembakaran tersebut dapat menghasilkan *biochar* yang bisa diaplikasikan sebagai pembenah tanah (*fertilizer*). *Biochar* bukan pupuk tetapi berfungsi sebagai *fertilizer*.

Biochar dapat dibuat dari segala bentuk biomassa, misalnya kotoran hewan, limbah pertanian, sisa produk hutan, dan banyak lagi. Bahan baku dan variabel pada proses pirolisis akan mempengaruhi karakteristik *biochar* yang dihasilkan. Menurut peradaban kuno ribuan tahun yang lalu, arang yang ditempatkan di dalam tanah dan dikombinasikan dengan limbah rumah tangga khususnya makanan akan menciptakan tanah yang subur dan kaya nutrisi yang masih digunakan sampai sekarang (Mustafa, *et al.*, 2022).

KONDISI LAHAN PERTANIAN DI INDONESIA

Lahan pertanian adalah tanah yang digunakan sebagai media budidaya tanaman atau peternakan. Lahan merupakan salah satu sumber daya utama pada usaha tani karena dalam proses budidaya tanaman pasti membutuhkan tempat untuk tumbuh. Oleh karena itu, kondisi lahan pertanian Indonesia perlu diketahui dengan baik untuk mengoptimalkan produktivitas lahan pertanian. Secara umum, lahan pertanian di Indonesia dapat dibedakan menjadi lahan basah yang biasa berupa lahan sawah dan lahan kering yang biasa berupa ladang dan tegalan. Keberadaan lahan pertanian akan menghasilkan bahan pangan untuk memenuhi kebutuhan manusia. Indonesia yang memiliki tren pertumbuhan penduduk yang tinggi mengakibatkan adanya pergeseran fungsi lahan pertanian menjadi pemukiman maupun industri.

Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional (ATR/BPN) Tahun 2020 telah menyampaikan hasil verifikasi luas lahan baku sawah. Berdasarkan hasil perhitungan ulang tahun 2019, pemerintah mencatat bahwa luas lahan baku sawah hanya tinggal 7,46 juta hektar saja. Sementara itu, berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), luas panen padi Tahun 2020 hanya mencapai 10,66 juta hektar atau mengalami penurunan sebesar 0,19 persen dibandingkan dengan Tahun 2019 yang berjumlah 10,68 juta hektar atau 20,61 ribu hektar. Penyusutan luas lahan pertanian secara terus menerus ini jelas tidak menguntungkan posisi pembangunan industri pertanian Indonesia. Produktifitas lahan pertanian pada Tahun 2020 memang menghasilkan sejumlah 54,65 juta ton Gabah Kering Giling (GKG) atau mengalami kenaikan 0,08 persen dibandingkan Tahun 2019. Jika dikonversikan menjadi komoditas beras untuk bahan konsumsi pangan, maka pada Tahun 2020 jumlahnya mencapai 31,33 juta ton atau mengalami peningkatan sebesar 0,07 persen dibandingkan Tahun 2019. Tapi, faktanya peningkatan ini tidak mampu mengatasi ketergantungan atas impor bahan pangan yang disebabkan oleh penyusutan luas lahan.

Penyusutan lahan pertanian sejatinya telah terjadi sejak 10 tahun lebih, mengacu pada data BPS tahun 2010, menunjukkan fakta saat itu lahan pertanian Indonesia diperkirakan hanya seluas 9,29 juta hektar, dengan jumlah penduduk 237,6 juta jiwa. Pada tahun 2020, jumlah penduduk Indonesia berdasar data BPS yang diolah oleh media riset DATACORE mencapai 276.647.735 jiwa. Artinya, produksi beras yang lebih banyak sangat diperlukan apabila hendak mengurangi ketergantungan terhadap impor. Penyusutan luas lahan pertanian yang berdampak pada turunnya produktifitas hasil pertanian dan jumlah konsumsi pangan yang meningkat perlu mendapatkan perhatian yang serius dan diupayakan solusinya.

Secara definisi, lahan sawah merupakan lahan pertanian yang berpetak-petak yang dibatasi oleh pematang/ galengan atau saluran untuk menahan/ menyalurkan air. Lahan ini biasa ditanami tanaman padi. Penurunan luas lahan sawah dapat terjadi karena adanya pembangunan infrastruktur, baik itu berupa pembuatan/ pelebaran jalan maupun pembangunan perumahan. Penurunan luas sawah merupakan masalah serius, karena di sawah-lah tumbuh tanaman yang menghasilkan makanan pokok penduduk Indonesia. Perlu diingat, bahwa peningkatan jumlah produksi pangan suatu wilayah sejalan dengan adanya peningkatan luas lahan dan produktivitasnya, begitu pula sebaliknya. Karena terbatasnya jumlah lahan yang bisa menghasilkan produksi pangan maka perlu diupayakan peningkatan produktivitas hasil pertanian melalui perbaikan kondisi lahan dengan cara pemupukan dan fertilisasi (peningkatan kualitas) agar bisa meningkatkan produktivitas.

UPAYA REMEDIASI LAHAN PERTANIAN DI INDONESIA

Pergeseran fungsi lahan akibat industrialisasi, dengan merubah fungsi lahan pertanian telah menyebabkan berkurangnya lahan pertanian di Indonesia. Kegiatan industri ini juga telah berdampak pada terjadinya pencemaran tanah dan air. Akibat pencemaran ini antara lain juga dapat menurunkan kualitas dan kuantitas hasil/produk pertanian, terganggunya kenyamanan dan

kesehatan manusia atau makhluk hidup lain. Dampak negatif yang menimpa lahan pertanian dan lingkungannya perlu mendapatkan perhatian yang serius, karena limbah industri yang mencemari lahan pertanian akan mengganggu produktivitas tanah serta berakibat lebih jauh terhadap kesehatan makhluk hidup.

Tanah dikategorikan subur apabila tanah mengandung cukup nutrisi bagi tanaman maupun mikro organisme, dan dari segi fisika, kimia, dan biologi memenuhi untuk pertumbuhan. Tanah dapat rusak karena terjadinya pencemaran tanah. Pencemaran tanah merupakan keadaan di mana materi fisika, kimia, maupun biologis masuk dan mengakibatkan perubahan alami lingkungan tanah. Pencemaran dapat terjadi karena kegiatan rutin manusia maupun akibat kecerobohan, seperti kebocoran limbah cair atau bahan kimia industri atau penggunaan pestisida yang berlebihan.

Pencemaran tanah juga dapat memberikan dampak terhadap ekosistem. Perubahan kimiawi tanah yang radikal dapat timbul dari adanya bahan kimia beracun/berbahaya bahkan pada dosis yang rendah sekalipun. Perubahan ini dapat menyebabkan perubahan metabolisme dari mikroorganisme endemik dan antropoda yang hidup di lingkungan tanah tersebut. Dampak pada pertanian terutama perubahan metabolisme tanaman yang pada akhirnya dapat menyebabkan penurunan hasil pertanian. Hal ini dapat menyebabkan dampak lanjutan pada konservasi tanaman dalam hal ini tanaman tidak mampu menahan lapisan tanah dari erosi. Beberapa bahan pencemar ini memiliki waktu paruh yang panjang dan pada kasus lain bahan-bahan kimia derivatif akan terbentuk dari bahan pencemar tanah utama.

Terdapat beberapa cara untuk mengurangi dampak dari pencemaran tanah, antara lain dengan remediasi dan bioremediasi. Remediasi yaitu dengan cara membersihkan permukaan tanah yang tercemar. Sedangkan Bioremediasi dengan cara proses pembersihan pencemaran tanah dengan menggunakan mikroorganisme seperti jamur dan bakteri. Ada dua jenis remediasi tanah, yaitu *in-situ* (atau *on-site*) dan *ex-situ* (atau *off-site*). Pembersihan *on-site* adalah pembersihan di lokasi.

Pembersihan ini lebih murah dan lebih mudah, terdiri dari pembersihan, venting (injeksi), dan bioremediasi. Pembersihan off-site meliputi penggalian tanah yang tercemar dan kemudian dibawa ke daerah yang aman dan setelah itu tanah tersebut dibersihkan dari zat pencemar.

Penurunan kualitas tanah atau lahan juga dapat disebabkan oleh budidaya lahan dalam waktu lama. Pada umumnya lahan kering yang sudah dibudidayakan akan mengalami penurunan kualitas lahan atau telah terdegradasi akibat pengelolaan yang tidak tepat. Penggunaan pupuk kandang atau kompos memang dapat memperbaiki kondisi tanah namun memerlukan jumlah yang banyak dan harus dilakukan terus-menerus. Di Indonesia, terdapat limbah pertanian yang dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki kualitas tanah. Limbah pertanian terdiri atas dua jenis yaitu bahan yang mudah terdekomposisi seperti jerami, batang jagung, limbah sayuran dan bahan yang sulit terdekomposisi seperti sekam padi, kayu-kayuan, tempurung kelapa, tempurung kelapa sawit, dan tongkol jagung. Limbah pertanian tersebut belum dimanfaatkan dengan baik untuk memperbaiki kualitas tanah. Limbah pertanian yang sulit terdekomposisi dapat dikonversi terlebih dahulu menjadi *biochar* (arang) melalui proses pirolisis.

POTENSI *BIOCHAR* DALAM REMEDIASI LAHAN PERTANIAN

Konsep *biochar* berasal dari peradaban Amazon kuno ribuan tahun yang lalu. Pada waktu itu, arang ditempatkan di tanah, dikombinasikan dengan sisa-sisa masakan (makanan), menghasilkan tanah terra petra, yaitu tanah yang gelap, kaya nutrisi dan sangat subur yang masih digunakan sampai sekarang. *Biochar* memiliki struktur permukaan berpori dan sifat kimia yang memungkinkannya menangkap dan menahan partikel kecil. Kemampuan ini cocok untuk menarik dan menahan nutrisi, kelembaban, dan bahan kimia pertanian, serta menyediakan tempat bagi mikroorganisme dan jamur untuk tinggal. Selain itu, *biochar* tidak rentan terhadap degradasi dan kerusakan, bertahan lebih lama di tanah daripada jenis bahan organik lainnya (tanah

terra preta telah bertahan selama ribuan tahun), sehingga efeknya tahan lama.

Hasil penelitian mengungkapkan bahwa *biochar* sangat bermanfaat bagi pertanian terutama untuk perbaikan kualitas lahan yaitu sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Perlakuan dengan *biochar* dapat meningkatkan kesuburan pada tanah atau lahan dan memulihkan kualitas tanah yang telah terdegradasi. Dalam bidang pertanian, *biochar* dapat meningkatkan ketersediaan unsur-unsur hara dan mempertahankannya dalam waktu lama. *Biochar* juga menahan cadangan air pada tanah dan meningkatkan pH serta kapasitas tukar kation pada tanah kering yang bersifat asam. Struktur *biochar* merupakan habitat yang baik bagi perkembangan mikroorganisme simbiotik seperti mikoriza karena kemampuannya dalam menahan air dan udara serta menciptakan lingkungan yang bersifat netral khususnya pada tanah-tanah masam. Pada akhirnya, keberadaan *biochar* mampu meningkatkan produksi tanaman pangan, mengurangi laju emisi CO₂, dan mengakumulasi karbon dalam jumlah besar dan bertahan lama di dalam tanah (>400 tahun) karena sulit terdekomposisi (Nurida *et al.*, 2013).

Sering disarankan bahwa aplikasi *biochar* untuk tanah dapat meningkatkan produktivitas pertanian (Lehmann *et al.*, 2003c; Blackwell *et al.*, 2009). Berdasarkan banyak kajian dari banyak penelitian (>90%), menyatakan bahwa peningkatan hasil panen tanaman yang diinduksi *biochar* tampak jelas, sementara Lehmann *et al.* (2005) melaporkan bahwa, tergantung pada jumlah *biochar* yang ditambahkan, perbaikan signifikan pada produktivitas tanaman dicapai mulai dari 20% hingga 220%. Blackwell *et al.* (2009) menunjukkan bahwa daftar tanaman yang diselidiki dibatasi dan tidak termasuk penyelidikan di padang rumput, semak dan pohon, atau bahkan tanaman tropis abadi. Dalam kasus terakhir, tanah tropis biasanya sangat lapuk, bersifat asam (unsur toksisitas), menunjukkan tingkat pencucian (*leaching*) yang tinggi dan memiliki kandungan tanah liat yang tinggi, jadi pendekatan manajemen peningkatan produktivitas tanah yang cenderung menghasilkan manfaat positif di sini, sebagai

lawan dari banyak tanah pertanian beriklim sedang. Pentingnya keterkaitan terhadap pengembangan yang dengannya aplikasi *biochar* dapat meningkatkan produksi pertanian adalah pendorong penting dalam setiap upaya untuk mengembangkan sistem yang secara ekonomis menggabungkan produk pirolisis di dalam tanah. Ini bukan satu-satunya pertimbangan (penyerapan karbon juga sangat penting), tetapi membutuhkan investasi jangka panjang dalam eksperimen pertanian.

Ketersediaan air tanah adalah faktor kunci dalam menentukan produktivitas pertanian di seluruh dunia. Peningkatan zat organik tanah kemungkinan akan meningkatkan ketersediaan air. Tanah terra preta telah terbukti memiliki kelembaban yang lebih tinggi (Lehmann *et al.*, 2003c) daripada tanah di sekitarnya. Peningkatan kapasitas tanah diketahui sebagai akibat penambahan *biochar*. Peningkatan kadar air tanah atau kapasitas menahan air tanah akibat *biochar* mungkin memiliki manfaat yang lebih besar di tanah berpasir dibandingkan tanah lempung. Hal ini menunjukkan bahwa tanah dengan fraksi lempung tinggi cenderung tidak terpengaruh oleh penambahan *biochar* (Woolf, 2008). Hal ini seolah-olah tidak konsisten dengan manfaat pertanian yang tampak pada tanah Terra preta yang mengalami perbaikan keseimbangan kadar air tanah/tanaman, meningkatnya retensi air, terutama di zona perakaran, juga adanya pengaruh, peningkatan atau penurunan nutrisi tanah (Major *et al.*, 2009).

Secara alami, arang dan *biochar* sangat berpori dan jika sifat hidrofobitasnya diatasi maka akan memiliki potensi untuk mengoksidasi dan menyerap serta menahan air (Cheng *et al.*, 2006). Dalam beberapa kasus penggunaan *biochar* dapat meningkatkan permeabilitas air tanah, tetapi ini akan menjadi lebih sulit pada tanah dengan kandungan lempung yang tinggi (Asai *et al.*, 2009). Tanah anthrosol amazon menunjukkan nilai retensi air 18% lebih tinggi relatif terhadap tanah terdekat tanpa *biochar* (Glaser *et al.*, 2002). Jadi penggunaan *biochar* pada tanah dapat menurunkan kebutuhan irigasi. Hal ini didukung beberapa eksperimen yang menyatakan bahwa penggunaan *biochar* pada tanah memberi pengaruh dalam relasinya dengan kadar air.

Karakteristik fisik biochar maka akan ada perubahan distribusi ukuran pori tanah dan ini bisa mengubah pola perkolasi, waktu tinggal dan jalur aliran larutan tanah Major *et al.* (2009). Jika *biochar* mengandung zat humat dalam jumlah yang cukup maka ini dapat meningkatkan tanah kapasitas menahan air. Jika kapasitas menahan air meningkat maka harapan adanya manfaat nutrisi pada tanah juga dapat dicapai karena mobilitas uncur-unsur hara dalam menjadi lebih baik.

Pengaruh biochar pada sifat-sifat tanah

Hasil penelitian melaporkan bahwa tanaman jagung pada kondisi cuaca alami yang pupuknya dicampur dengan *biochar* dengan kisaran dosis tertentu dapat meningkatkan kapasitas penahanan air pada tanah berpasir sebesar 6-25% (Karhu *et al.*, 2011). Sementara pada tanah lempung berlumpur, pemupukan yang disertai *biochar* dapat meningkatkan kapasitas penahanan air hingga 11%. Kapasitas penahanan air dapat meningkat hingga 100% untuk tanah berpasir pada penambahan *biochar* sekitar 20 Mg ha⁻¹ dan juga membantu menyeimbangkan fluktuasi ketersediaan air dalam tanaman selama siklus pertumbuhan (Liu, *et al.*, 2012).

Penambahan *biochar* antara 1-10 Mg ha⁻¹ sedikit meningkatkan pH tanah, sedangkan penambahan *biochar* sebesar 40 Mg ha⁻¹ meningkatkan nilai pH tanah segera setelah pemupukan dilakukan; pH tanah ini dihitung nilai reratanya setelah tanaman dipanen. Penambahan *biochar* minimal 10 Mg ha⁻¹ meningkatkan ketersediaan unsur K dan Mg dalam tanah, tetapi tidak untuk unsur Ca ketika penggunaan *biochar* dikombinasikan dengan pupuk biogas. Setelah panen, konsentrasi Ca dan K dalam tanah menjadi lebih tinggi jika sebelumnya pemupukan dilakukan dengan menambahkan sekurang-kurangnya 10 Mg ha⁻¹ *biochar* (Glaser *et al.*, 2002). Sementara itu, di tanah berpasir, pemupukan dengan kompos yang ditambah *biochar* dengan rasio 30/20 (Mg ha⁻¹) dapat meningkatkan konsentrasi unsur K secara signifikan dibandingkan jika hanya menggunakan kompos saja (Liu *et al.*, 2012). Namun untuk konsentrasi unsur-unsur Ca, Mg, Al, Na dan P tidak

mengalami perubahan yang signifikan oleh penambahan biochar ini (Liu *et al.*, 2012).

Penambahan *biochar* ($\pm 10 \text{ Mg ha}^{-1}$) ketika proses pemupukan juga meningkatkan kapasitas pertukaran kation. Kapasitas pertukaran kation *biochar* dipengaruhi oleh gugus fungsi permukaan seperti -OH fenolik dan gugus karboksilat (Liu *et al.*, 2013) tetapi nilainya bervariasi bergantung pada kondisi bahan baku dan proses pembakaran pada saat pembuatannya (Wiedner *et al.*, 2013). Peningkatan gugus fungsi permukaan adalah proses alami penuaan *biochar* dalam tanah (Glaser *et al.*, 2000). Kadar abu dan nilai pH juga mempengaruhi kapasitas pertukaran kation. Peningkatan kapasitas pertukaran kation setelah penambahan *biochar* dapat juga disebabkan oleh input abu yang menempel pada permukaan *biochar*. Kapasitas pertukaran kation yang masih lebih tinggi setelah panen mungkin juga disebabkan oleh oksidasi permukaan *biochar* yang menghasilkan gugus fungsi karboksil, hidroksil, dan permukaan fenolik yang mengandung oksigen bermuatan negatif (Atkinson *et al.*, 2010; Uchimiya *et al.*, 2011). Jadi kapasitas tukar kation lebih tinggi pada tanah yang menggunakan pemupukan disertai *biochar* dari pada tanah yang pemupukannya tanpa *biochar*.

Penambahan *biochar* bersamaan dengan pemupukan ($\pm 10 \text{ Mg ha}^{-1}$) juga meningkatkan konsentrasi N total dalam tanah (Glaser *et al.*, 2002). Tanah yang diolah dengan *biochar* menunjukkan konsentrasi N total yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan yang sesuai tanpa *biochar*. Dalam semua pengolahan tanah yang lain, konsentrasi N yang tersedia di tanaman tidak secara signifikan dipengaruhi oleh aplikasi *biochar*, (DeLuca *et al.*, 2006; Jones *et al.*, 2012). Namun, N yang tersedia untuk tanaman dari *biochar* dan kompos lebih rendah dari N dari kompos tanpa *biochar* setelah panen. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan aktivitas mikroba melumpuhkan mineral N. Penurunan aktivitas mikroba setelah penambahan *biochar* juga dapat terjadi walaupun kecil kemungkinannya karena rasio C/N pada kompos sebesar 10 adalah sangat rendah dan bahkan setelah penambahan *biochar* hanya berubah menjadi 17.

Aplikasi *biochar* umumnya meningkatkan konsentrasi P yang tersedia untuk tanaman di tanah secara signifikan bila dikombinasikan dengan pupuk mineral. *Biochar* mempengaruhi penyerapan P, K, Mg dan Zn ke dalam tanaman (jagung). Jumlah penambahan *biochar* yang tinggi meningkatkan konsentrasi P secara signifikan pada jagung bila dikombinasikan dengan pupuk mineral atau biogas. Serapan P jauh lebih tinggi ke dalam *Vigna unguiculata*, sejenis kacang panjang, ketika *biochar* dikombinasikan dengan pupuk mineral atau pupuk kandang atau kombinasi keduanya dalam sol Ferral (Lehmann *et al.*, 2003b). Serapan P yang lebih tinggi juga dilaporkan pada tanaman jagung ketika *biochar* 10–20 Mg ha⁻¹ diterapkan (Uzoma *et al.*, 2011). Penambahan *biochar* untuk mineral dan pupuk organik meningkatkan konsentrasi K dan serapannya pada jagung. Pengaruh yang sama juga terjadi pada tanaman kacang panjang yang ditanam di sol Ferral dan biji jagung (Uzoma *et al.*, 2011). Penambahan *biochar* meningkatkan konsentrasi Zn pada jagung secara signifikan demikian juga pada tanaman kacang panjang (Lehmann *et al.*, 2003b). Namun demikian serapan unsur-unsur N, Ca, Mn, Co, Cr dan Pb pada tanaman jagung tidak mengalami peningkatan walaupun telah diterapkan *biochar* pada pemupukan. Penambahan *biochar* menyebabkan pengurangan serapan N pada tanaman jika diterapkan Bersama dengan mineral *fertilizer* atau pupuk kandang atau kombinasi keduanya dibandingkan dengan pupuk yang diterapkan tanpa *biochar* (Lehmann *et al.*, 2003b). Kammann *et al.* (2011) juga mengamati pengurangan konsentrasi N dalam tanaman uji, tetapi dalam kasus ini, pengurangan tersebut kemungkinan disebabkan oleh peningkatan efisiensi penggunaan N karena terdapat peningkatan biomassa hingga 60%. Hasil berbeda dilaporkan oleh Uzoma *et al.* (2011) yang menerapkan penambahan *biochar* pada pemupukan tanaman jagung yaitu meningkatnya serapan N pada tanaman tersebut. Demikian juga serapan N meningkat pada tanaman gandum yang ditanam di rumah kaca ketika *biochar* ditambahkan pada saat pemupukan. Penambahan *biochar* dalam pemupukan dapat meningkatkan serapan Ca pada tanaman jagung (Uzoma *et al.*, 2011). Demikian

juga penambahan *biochar* meningkatkan serapan Ca pada tanaman kacang panjang ketika *biochar* dikombinasikan dengan mineral dan/atau pupuk organik (Lehmann *et al.*, 2003b). Namun penyerapan unsur-unsur Na, Cu, Ni, dan Cd lebih rendah pada tanaman jagung setelah penambahan *biochar*. Penambahan *biochar* menyebabkan menurunnya penyerapan unsur Na pada tanaman, hal ini karena Na adalah antagonis bagi K, sehingga jika serapan unsur K meningkat maka sebaliknya serapan unsur Na menurun.

Biochar mengurangi konsentrasi Cu secara signifikan pada tanaman jagung bila diaplikasikan bersama dengan pupuk mineral dan biogas, tetapi tidak demikian bila diaplikasikan bersama dengan biogas terfermentasi atau kompos. Penambahan *biochar* menurunkan konsentrasi Ni secara signifikan pada tanaman jagung tidak bergantung pada jenis pupuk yang digunakan. Kemudian, penambahan *biochar* juga menurunkan konsentrasi Cd pada jagung secara signifikan bila dikombinasikan dengan biogas terfermentasi atau kompos.

Penerapan pupuk yang disertai *biochar* pada tanaman dalam pot memberikan hasil yang berbeda dengan pemupukan *biochar* yang diterapkan pada tanaman yang ditumbuhkan di tanah langsung. Biasanya *biochar* dan pupuk hanya ditambahkan pada kedalaman sekitar 15 cm tanah padahal akar dari tanaman dapat mencapai kedalaman 1 m lebih. Pemupukan pada tanaman dalam pot dapat lebih homogen sehingga *biochar* akan melepaskan unsur-unsur hara yang diperlukan tanaman dengan lebih baik. Sementara pada tanaman yang langsung tumbuh di tanah, penyerapan unsur-unsur hara ini agak terhambat karena akar yang terletak lebih dalam dari paparan *biochar* dan pupuk yang diberikan (Lehmann *et al.*, 2003b). Jadi untuk tanaman yang akarnya terletak sangat dalam pengaruh *biochar* agak kurang dalam mensuplai unsur-unsur hara melalui retensi nutrisi yang baik (Laird *et al.*, 2010; Knowles *et al.*, 2011).

Penambahan *biochar* pada tanah juga dapat mempengaruhi proses fisiko-kimia dan biologis seperti adsorpsi dan desorpsi, kompleksitas/disosiasi, oksidasi/reduksi dan mobilisasi/

imobilisasi (Uchimiya *et al.*, 2011) yang mengontrol mobilitas dan ketersediaan makronutrien dan mikronutrien untuk tanaman. Hal tersebut memiliki efek langsung pada serapan hara tanaman dan efek tidak langsung pada hasil panen. Interaksi kompleks ini menyebabkan efek *biochar* yang berbeda pada konsentrasi nutrisi tanaman maupun penyerapannya, tergantung pada jumlah *biochar* dan jenis pupuk yang diterapkan bersama. Studi lebih lanjut diperlukan untuk mempelajari interaksi secara spesifik antara tanah-air-tanaman dengan *biochar* dan nutrisi atau logam berat.

BIOFERTILIZER BERBASIS BIOCHAR

Indonesia adalah negara dengan iklim tropis yang mengalami dua musim yaitu musim hujan dan musim kemarau. Sebagian wilayah Indonesia adalah lahan pertanian dengan tanah yang subur namun sebagian lagi berupa tanah tegalan yang cenderung kering pada musim panas dan hanya mengandalkan curah hujan jika digunakan untuk perkebunan. Pertanian dan perkebunan di Indonesia bergantung pada kondisi iklim yang terkadang ekstrim seperti musim hujan yang panjang dan periode kekeringan yang berkepanjangan.

Mengubah tanah dengan *biochar* mulai berkembang setelah proses tersebut dikenal ribuan tahun yang lalu di Lembah Amazon yang dikenal dengan tanah subur yang disebut terra preta (bumi gelap) yang diciptakan oleh penduduk asli. Antropolog berspekulasi bahwa memasak api dan puing-puing dapur bersama dengan penempatan yang disengaja dari arang di dalam tanah menghasilkan tanah dengan kesuburan dan kandungan karbon yang tinggi. *Biochar* adalah material yang kaya karbon yang dapat menyerap karbon dalam tanah, memperbaiki sifat-sifat tanah dan hasil pertanian. Namun, penelitian terbaru menunjukkan kinerja *biochar* yang kontras. Banyak penelitian yang menyarankan penggunaan *biochar* murni untuk digunakan di lingkungan tropis. Beberapa penelitian melaporkan tentang kinerja *biochar* dalam kombinasi dengan pupuk pada iklim sedang.

Karena sifat fisik dan kimia *biochar*, ia memiliki kemampuan unik untuk menarik dan menahan kelembapan,

nutrisi, dan bahan kimia pertanian bahkan yang sulit ditahan seperti nitrogen dan fosfor. *Biochar* juga menyimpan gas; penelitian terbaru telah membuktikan bahwa tanah yang diperkaya dengan *biochar* mampu mengurangi emisi karbon dioksida (CO₂) dan *nitrous oxide* (N₂O) sebesar 50-80%. N₂O adalah gas rumah kaca yang cukup besar pengaruhnya, 310 kali lebih kuat dari CO₂ (USBI News, 2022). Fungsi *biochar* khususnya dalam bidang pertanian sangat tergantung pada karakteristik *biochar* tersebut. Karakteristik *biochar* tersebut meliputi: pH, kemampuan meretensi air, kandungan C-total, kapasitas tukar kation, dan kandungan unsur hara. Perbedaan bahan baku dan proses pirolisis untuk membentuk *biochar* (jenis alat pembakaran, suhu dan waktu pembakaran) akan menghasilkan sifat fisika-kimia *biochar* yang berbeda.

Kandungan hara dan kapasitas tukar kation dalam *biochar* relatif rendah sehingga tidak mampu mensuplai hara sedangkan pH, kandungan C-total, dan kemampuan menahan air cukup tinggi sehingga *biochar* lebih sesuai disebut sebagai pembenah tanah untuk meningkatkan kandungan bahan organik, ketersediaan air tanah dan menurunkan kemasaman tanah. Agar *biochar* bisa berfungsi dengan baik sebagai pembenah tanah, maka kandungan karbon di dalamnya minimal sebesar 20% (Atkinson *et al.*, 2010). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa aplikasi *biochar* pada tanah dapat mempengaruhi sifat tanah, misalnya kapasitas penahan air, pH atau aktivitas mikroba (Atkinson *et al.*, 2010; Glaser *et al.*, 2002). Penggunaan *biochar* juga dapat meningkatkan penyerapan nutrisi oleh tanaman (Lehmann *et al.*, 2003b). Namun ada beberapa penelitian yang menyatakan bahwa tidak ada efek signifikan pada sifat tanah, nutrisi tanaman atau produksi biomassa setelah penggunaan *biochar* dalam kondisi lapangan (Major *et al.*, 2010b). Sebagian besar penelitian dan studi tentang penggunaan *biochar* dilakukan dengan *biochar* murni pada skala laboratorium atau rumah kaca atau di bawah lingkungan tropis (Jeffrey *et al.*, 2011).

Studi *biochar* pada kondisi lapangan yang sesungguhnya seringkali menunjukkan hasil yang berbeda dengan hasil pada

skala laboratorium (Liu *et al.*, 2013). Hal ini karena variasi kondisi yang lebih heterogen namun lebih realistis. Oleh karena itu, percobaan dalam kondisi lapangan dengan jenis dan jumlah pupuk yang relevan secara agronomi memberikan hasil lebih baik dan mencerminkan kondisi yang lebih realistis. Hal ini berkaitan dengan respons ekosistem pertanian yang berbeda dalam sifat tanah, kondisi cuaca dan metode pemrosesan pertanian (Fischer & Glaser, 2012).

Sifat-sifat fisika dan kimia biochar

Sifat fisik *biochar* adalah kunci untuk memahami mekanisme dan fungsi *biochar* di dalam tanah dan potensinya dalam menurunkan jumlah karbon dioksida di atmosfer (Downie *et al.*, 2009). Penggunaan *biochar* dapat mempengaruhi struktur tanah, tekstur, porositas, distribusi ukuran partikel dan densitas, sehingga berpotensi mengubah kandungan oksigen udara, kapasitas penyimpanan air, dan status mikroba dan nutrisi tanah di daerah perakaran tanaman (Amonette & Joseph, 2009). Dalam hal ini, pengaturan air tanah itu sendiri dapat memodifikasi stabilitas *biochar* tergantung pada sifat awal dari bahan baku yang digunakan; *biochar* yang diproduksi pada suhu yang lebih rendah dan dari bahan baku yang lebih labil, akan lebih mudah diubah (Nguyen & Lehmann, 2009). Perbedaan ukuran partikel *biochar* dalam kisaran 2 – 20 mm tampaknya memiliki pengaruh terhadap hasil panen (Lehmann *et al.*, 2003c).

Biochar adalah material karbon yang mengandung hidrokarbon aromatik polisiklis dengan sederet gugus fungsional lain (Schmidt & Noack 2000). Strukturnya yang berpori mengandung sejumlah asam humat dan fulvat yang dapat diekstrak (Trompowsky *et al.*, 2005), dengan struktur molekul yang menunjukkan stabilitas kimia dan mikrobial yang tinggi, dan pergantian yang bergantung pada lingkungan pada skala waktu ribuan tahun (Cheng *et al.*, 2008). Stabilitas kadar zat organik (*soil organic carbon*) yang teramati disebabkan oleh akumulasi yang terinduksi antropogenik, melalui pirolisis, dari struktur C-aril yang

sangat tahan api, seperti di tanah gelap Amazon (Solomon *et al.*, 2007b).

Komposisi heterogen *biochar* menunjukkan bahwa permukaannya dapat bersifat hidrofilik, hidrofobik, asam maupun basa, yang semuanya berkontribusi pada kemampuannya untuk bereaksi dengan zat-zat yang larut dalam tanah. Keberagaman sifat fisik dan kimia *biochar* bergantung pada material asal *biochar* tersebut. Hal lain yang juga turut berpengaruh adalah ketersediaan oksigen dan suhu yang diterapkan saat pirolisis (Lua & Yang 2004; Amonette & Joseph 2009). Informasi deskriptif dari karakteristik *biochar* sangat penting untuk memahami pengaruh penggunaannya dalam budidaya tanaman. Informasi mengenai ketersediaan mineral juga sangat penting untuk mengetahui potensi dan manfaat penggunaan *biochar* untuk pertumbuhan tanaman.

Temperatur akhir pada saat pirolisis mempengaruhi kadar asam humat dan asam fulviat dalam *biochar* yang dihasilkan dari sumber yang sama (Trompowsky *et al.*, 2005). Demikian pula perbedaan temperatur dalam pirolisis tersebut menghasilkan *biochar* dengan sifat-sifat yang berbeda termasuk di dalamnya, konduktivitas elektrik, pH, dan konsentrasi P dan N (Chan *et al.*, 2008). Temperatur sangat berpengaruh pada tingkat kehilangan C (karbon) selama pirolisis dan perubahan struktur fisiknya (Downie *et al.*, 2009). Walaupun begitu, perbedaan temperatur selama pirolisis dihubungkan dengan terciptanya mikropori (ukuran Angstrom) yang terbentuk ketika molekul air terlepas saat terjadi dehidroksilasi. Hal ini meningkatkan porositas (luas area) tiga kali lipat (Bagreev *et al.*, 2001).

Porositas *biochar*, yang menentukan luas areanya, menunjukkan distribusi ukuran yang luas yang sangat bervariasi dan meliputi ukuran nano- (<0,9 nm), mikro- (<2 nm) hingga makropori (>50 nm) (Downie *et al.*, 2009). Ukuran yang lebih besar dari makropori sangat berpengaruh pada fungsinya di dalam tanah, seperti aerasi dan hidrologi, yang juga menyediakan habitat ceruk untuk pertumbuhan mikroba. Sementara itu, ukuran pori yang lebih kecil memfasilitasi transport molekul dan adsorpsi. Struktur

tanah bervariasi sesuai tipenya dan sangat terkait dengan distribusi ukuran partikel. Misalnya, tanah berpasir memiliki luas spesifik yang terbatas yaitu 0,01 – 0,1 m²/g), dan hanya dapat menampung sedikit air atau nutrisi dibandingkan tanah dengan luas area spesifik yang lebih besar misalnya lempung (*clay*) yaitu 5 - 750 m²/g) (Troeh & Thompson, 2005).

Penambahan *biochar* ke dalam tanah berpasir dapat meningkatkan luas area spesifik sebanyak 4,8 x relatif terhadap tanah yang berdekatan (Liang *et al.*, 2006). Sifat pori *biochar* juga penting karena dapat menyediakan perlindungan bagi beberapa organisme yang bermanfaat seperti mikoriza dan bakteri (Pietikäinen *et al.*, 2000). Porositas dan luas area *biochar* akan memberikan pengaruh yang sangat penting yaitu kapasitas retensi nutrisi karena adanya ikatan dari kation dan anion dengan permukaannya (Liang *et al.*, 2006; Chan & Xu, 2009). Jadi jika temperatur pirolisis terlalu rendah maka molekul-molekul organik akan terkondensasi kembali ke permukaan *char* hingga menutup pori-porinya dan menurunkan potensi adsorpsinya (Kwon & Pignatello, 2005; Pignatello *et al.*, 2006). Jelas bahwa sifat fisik dan kimia sumber *biochar* beserta kondisi pembuatannya memiliki dampak yang besar pada *biochar*. Ketika diterapkan pada tanah, misalnya level asam humat dan lain-lain. Jadi pertimbangan tentang bagaimana proses pirolisis dilakukan dan juga tipe bahan baku dapat dipakai untuk merancang *biochar* sesuai kebutuhan.

Biomassa organik yang berasal dari pupuk kandang dan kompos mengandung sejumlah besar karbon, nutrisi makro dan mikro (Chan & Xu 2009). Pemanfaatan sumber bahan organik ini, seperti misalnya *biochar* akan menyediakan alternatif nutrisi makro seperti N dan P, dan beberapa ion logam (misalnya Ca dan Mg), ketika dimasukkan ke dalam tanah (Lehmann *et al.*, 2003a; Gundale & DeLuca 2006; Major *et al.*, 2010a,c). Bahan baku dan kondisi pirolisis mempengaruhi kandungan mineral dalam *biochar* (Amonette & Joseph 2009), dengan adanya unsur-unsur utama dalam *biochar* yang bergantung secara linear terhadap kadar dalam bahan baku awal (Alexis *et al.*, 2007). Perbedaan relatif kadar nutrisi dalam bahan baku perlu dipertahankan bahkan

ketika disiapkan dalam kondisi pirolisis yang berbeda (DeLuca *et al.*, 2009).

Sifat Kimia Biochar

Penambahan *biochar* ke tanah mengakibatkan perubahan pH, konduktivitas elektrik (EC), kapasitas pertukaran kation (CEC) dan level nutrisi (Liang *et al.*, 2006; Amonette & Joseph 2009). Kenaikan pH tanah akibat penambahan *biochar* tidak mengejutkan mengingat adanya pengaruh serupa akibat dari penggunaan material sejenis abu dari kayu untuk memodifikasi pH dan ketersediaan nutrisi, khususnya unsur K dan P (Mahmood *et al.*, 2003). Kenaikan kapasitas tukar kation (CEC) bisa disebabkan oleh bertambahnya rapat muatan per satuan luas material organik, yang menyamai derajat oksidasi yang lebih besar, atau bertambahnya luas area untuk adsorpsi kation, atau gabungan dari keduanya. Pada tanah kuno, konsekuensi dari oksidasi permukaan maka adsorpsi material organik dan kerapatan muatannya (CEC per satuan luas) meningkat Liang *et al.*, 2006).

Penggunaan *biochar* untuk fertilisasi tanah dapat membantu mengurangi *ammonium leaching* (pelepasan ammonium). Hal ini diketahui dari suatu eksperimen rumah kaca yang mengungkapkan bahwa *ammonium leaching* berkurang sebesar 60% (Lehmann *et al.*, 2003a; Major *et al.*, 2009), sementara pada beberapa kasus, emisi N₂O juga dapat dikurangi (Spokas & Reicosky, 2009). Pada studi lain, yang menggunakan daerah Amazonian untuk percobaan, telah mengkonfirmasi bahwa *biochar* dapat bertindak sebagai adsorben untuk menurunkan N *leaching* dan meningkatkan efisiensi penggunaan N (Steiner *et al.*, 2008c). Perlu kajian yang lebih luas untuk meyakinkan bahwa proses pirolisis dan bahan baku *biochar* memiliki pengaruh untuk mengoptimalkan kadar N dalam tanah dan memberi ketersediaan yang cukup bagi tanaman. Efisiensi penggunaan N merupakan kebutuhan mutlak untuk mempertahankan populasi tumbuhan selanjutnya. Untuk mencapai hal ini perlu lebih banyak kajian dan riset untuk memahami pengaruh mekanis dari *biochar* (langsung

atau tidak langsung) khususnya pada nitrifikasi dan ketersediaan unsur N.

Biochar juga mampu mengurangi paparan logam berat (Cu dan Zn) dan kontaminan organik yang lain misalnya insektisida. Muatan-muatan positif di permukaan akan berkurang jika *biochar* mengoksidasi, yang mengubah sifat-sifat adsorpsinya (Cheng *et al.* 2008). Penerapan *biochar* juga dapat mengurangi konsentrasi zat-zat terlarut dalam tanah seperti fenol (Gundale & DeLuca, 2007). Demikian juga beberapa unsur yang toksik terhadap pertumbuhan tanaman, khususnya pada pH rendah, seperti Al, Cu dan Mn, dapat direduksi melalui penerapan *biochar* ini (Steiner *et al.*, 2008b), sedangkan ketersediaan unsur lain dapat bertambah, dengan induksi *biochar* dapat meningkatkan pH tanah dan meningkatkan unsur-unsur misalnya N, P, Ca, Mg and Mo.

Sifat Fisika

Baru sedikit publikasi tentang pengaruh penambahan *biochar* pada sifat fisik tanah. Faktor-faktor seperti mobilitas *biochar* dalam profil tanah sangat penting, khususnya yang terkait ke manfaatnya terhadap produksi tanaman dan pergerakan potensial ke dalam tanah dan permukaan air (Leifeld *et al.*, 2007). Terdapat beberapa bukti hasil penelitian bahwa *biochar* akan berpindah ke lapisan tanah yang lebih namun membutuhkan waktu relatif lama (Leifeld *et al.*, 2007; Major *et al.*, 2010a,c). Hal ini dikaitkan dengan penurunan ukuran partikel *biochar* seiring waktu di dalam tanah.

Diketahui dari tanah Amazonian bahwa kerapatan tanah lebih rendah di bagian atas walaupun tidak semuanya (Teixeira & Martins 2003). Terdapat beberapa bukti bahwa ada peningkatan densitas tanah dengan kedalamannya (Teixeira & Martins 2003). Di bagian atas porositas tanah cukup tinggi namun menurun pada kedalaman karena kandungan bahan organik. Hal ini dianggap menguntungkan bagi pertanian (Teixeira & Martins 2003). Perlu mempertimbangkan potensi evaluasi kritis manfaat penggabungan *biochar* tanah untuk meningkatkan impedansi mekanik. Beberapa tanah dengan tingkat impedansi/kekompakan yang tinggi, dan

infiltrasi rendah dapat menjadi tergenang air, dan hal ini membatasi pertumbuhan akar dan perkembangan tanaman. Dalam beberapa situasi, aplikasi biochar dapat meningkatkan permeabilitas air tanah (Asai *et al.*, 2009). Kemudahan penetrasi akar tanaman tanah diketahui berdampak pada pertumbuhan dan hasil.

Pengetahuan yang cukup diperlukan untuk mengembangkan pemahaman yang lebih baik tentang cara *biochar* diaplikasikan ke dalam tanah dan mengubah struktur fisik maupun sifatnya dalam jangka waktu yang panjang. Ini adalah tantangan untuk melakukan eksperimen jika dilakukan di tempat yang paling tepat. Desain yang cermat dan konstruksi rezim bioma tanah kemungkinan akan dibutuhkan dalam jangka pendek untuk berkembang dalam jangka panjang

Biota Tanah

Struktur dan fungsi komunitas biologis dalam tanah itu kompleks, dengan penghuninya yang bervariasi dikelompokkan menjadi alga, archaea, artropoda, bakteri, jamur, nematoda, protozoa dan invertebrata lainnya. Kehadiran dan kelimpahan variabel dari kelompok-kelompok ini memiliki efek mendalam pada fungsi dan kesehatan tanah dan produktivitas, seperti halnya aplikasi bahan organik dan *biochar*. Tanah Amazon mengandung beragam jenis mikroorganisme yang disesuaikan dengan biokimia tanah dan ekologi (Kim *et al.*, 2007; O'Neill *et al.*, 2009; Thies & Rillig, 2009). Taksonomi studi menggunakan pendekatan molekuler (gen ribosom sidik jari) menunjukkan bahwa tanah Terra preta mengandung jumlah unit taksonomi operasional (*operational taxonomy unit/OTU*) yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah hutan asli, yaitu 396 OTU, dibandingkan dengan 291 OTU (Kim *et al.*, 2007). Perbandingan serupa tentang kekayaan spesies bakteri menunjukkan bahwa tanah Terra preta lebih kaya 25% dari pada tanah hutan, dengan 14 kelompok filogenetik dibandingkan dengan hanya 9 di tanah hutan (Kim *et al.*, 2007).

Bakteria

Bukti dari penggunaan abu kayu, dalam percobaan pot, telah menunjukkan bahwa aktivitas bakteri, diukur melalui penggabungan isotop timidin dan leusin berlabel, meningkat sejalan dengan komunitas struktur bakteri (Mahmood *et al.*, 2003), sementara itu telah disarankan bahwa aplikasi arang ke tanah dapat memiliki dampak signifikan pada profil pemanfaatan karbon profil dan struktur populasi (O'Neill *et al.*, 2009), seiring dengan peningkatan respirasi tanah basal dan laju respirasi per mikroorganisme (Pietikäinen *et al.*, 2000; Steiner *et al.*, 2008b). Perkembangan terbaru mengindikasikan, kontradiksi, pengurangan dan stimulasi produk respiratori terukur ketika biochar yang berbeda diterapkan ke tanah yang berbeda pula (Spokas & Reicosky 2009). Sejumlah penjelasan untuk peningkatan respirasional ini telah disarankan dan termasuk juga peningkatan pH, dan ketersediaan mineral. Misalnya, adanya pelarutan fosfat heterotrofik mikroorganisme yang meningkat setelah penambahan tanah arang.

Sejalan dengan peningkatan komunitas biomassa mikroba, ada peningkatan efisiensi mikroba secara linear (yaitu CO₂ yang dilepaskan per unit karbon tanah) pada kisaran penggunaan arang dari 50 hingga 150 g kg⁻¹ tanah (Steiner *et al.*, 2008b). Ada juga pendapat bahwa *biochar* dapat mendorong pertumbuhan mikroorganisme yang menyebabkan pembusukan senyawa yang lebih labil di dalam *biochar* (Hamer *et al.* 2004). Ada beberapa penelitian yang menunjukkan bahwa aplikasi karbon aktif (Berglund *et al.*, 2004) dan *biochar* (Gundale & DeLuca, 2006) dapat meningkatkan nitrifikasi. Lingkungan mikro *biochar* juga dapat memberikan ceruk yang menguntungkan (pori-pori struktural halus) di mana konsentrasi oksigen menurun; untuk nitrogenase untuk berfungsi secara efektif, tekanan oksigen yang rendah diperlukan dengan ion Fe dan Mo (Thies & Rillig 2009).

Sedikit yang diketahui tentang dampak *biochar* pada imobilisasi N dan denitrifikasi (DeLuca *et al.*, 2009). Pengurangan NO₃ menjadi N₂ tanpa adanya oksigen dicapai melalui beberapa intermediet (NO₂, NO, N₂O) yang dapat dilepaskan ke atmosfer. *Biochar* mungkin memiliki potensi untuk mengkatalisis reduksi

N_2O menjadi N_2 , mengurangi emisi gas rumah kaca utama. Namun, bukti pendukung terbatas (van Zwieten *et al.*, 2009). Aplikasi *biochar* mungkin juga mengurangi emisi CH_4 . Konsep bahwa aplikasi *biochar* dapat mengurangi denitrifikasi membutuhkan lebih banyak penyelidikan.

Ada bukti yang menunjukkan bahwa peningkatan aplikasi *biochar* ke tanah dapat meningkatkan proporsi N yang berasal dari fiksasi oleh *Phaseolus vulgaris*, dan ini akan meningkatkan *yield* (hasil panen) (Rondon *et al.*, 2007). Efek menguntungkan ini terkait dengan peningkatan ketersediaan Mo dan B dengan peningkatan pH tanah. Rhizobia menunjukkan peningkatan fungsi di pH tanah netral, sehingga meningkatkan alkalinitas di tanah asam akan meningkatkan nodulasi dan fiksasi.

Nutrisi Tanaman

Pentingnya nutrisi mineral tanah sebagai faktor pembatas dalam memaksimalkan hasil panen, dengan unsur N merupakan faktor pembatas paling banyak telah diketahui. Nitrogen terutama terdapat di tanah dalam bentuk kompleks organik, yang selanjutnya diamonifikasi (NH_4^+) kemudian nitrifikasi (NO_3^-), sebelum diserap oleh tanaman. Sudah banyak diketahui bahwa pasca kebakaran, tanah menunjukkan perubahan dinamika nutrisi, misalnya, peningkatan siklus N dan ketersediaan N (Gundale & DeLuca, 2007). Studi dari suatu tanah rumput tipe sabana menunjukkan tren akumulasi N setelah pembakaran yang mungkin terjadi secara tidak langsung karena unsur P merangsang fiksasi N oleh *Cyanobacteria* atau stimulasi fiksasi N_2 jika terdapat spesies pembentuk akar (Ansley *et al.*, 2006), sedangkan penggunaan *biochar* telah terbukti merangsang fiksasi N dengan kacang dalam kaitannya dengan *Rhizobia* sp. Symbion (Lehmann *et al.*, 2005; Rondon *et al.*, 2007). Belum ditemukan bukti untuk mendukung gagasan bahwa bakteri pengikat N yang hidup bebas dipengaruhi oleh penggunaan *biochar* dalam tanah. Namun, diketahui bahwa kelebihan N yang dapat larut dalam tanah mengurangi fiksasi N (Dazzo dan Brill 1978), sementara ketersediaan P dapat merangsangnya, oleh karena itu keberadaannya dalam bentuk

yang larut, dapat meningkatkan fiksasi N_2 bakterial (Lehmann *et al.*, 2003a,c).

Studi *biochar* menunjukkan bahwa meskipun kerugian signifikan dari N labil teruapkan pada saat pembakaran (70-90%), residu arang dapat mengandung sejumlah besar elemen (Rovira *et al.*, 2009). Jika jaringan tanaman dipirolisis pada suhu yang relatif rendah (100 °C) karbon yang menguap bersama dengan oksigen akan hilang, sedangkan penguapan P membutuhkan 700 °C. Jadi proses pirolisis ini akan meningkatkan ketersediaan P relatif terhadap karbon dalam *biochar* (DeLuca *et al.*, 2006). Peningkatan kandungan P dalam *biochar* terlihat jelas ketika kotoran unggas dipirolisis pada 450 °C daripada 550 °C dan hal ini kemungkinan adalah penyebab yang diamati pada peningkatan hasil lobak (Chan *et al.*, 2008). Namun, ada juga bukti yang menyatakan bahwa aplikasi *biochar* tidak banyak berkontribusi secara langsung terhadap status hara tanah namun kombinasi dari *biochar* dan pemupukan-lah yang menyebabkan peningkatan hasil tanaman (Lehmann *et al.*, 2003c)

Aplikasi *biochar* untuk tanah hutan di berbagai wilayah geografis menunjukkan transformasi N terstimulasi (DeLuca *et al.*, 2006), tetapi dinamika N tanah belum dapat dipahami sepenuhnya. Sebagaimana dipahami, kapasitas *biochar* dan potensinya untuk mengadsorpsi N (NH_4^+) dan selanjutnya meningkatkan ketersediaan N untuk tanaman dapat menjelaskan respon hasil yang bervariasi; ini adalah pertanyaan kunci yang membutuhkan eksperimen lebih lanjut. Eksperimen lobak dalam pot (*Raphanus sativus*) mengungkapkan bahwa sampah hijau yang dijadikan arang tidak secara langsung meningkatkan hasil, sementara beberapa bukti menunjukkan bahwa ketika penggunaan *biochar* digabungkan dengan penambahan pupuk N maka stimulasi pertumbuhan dapat berjalan sinergis (Chan *et al.*, 2007; Chan *et al.*, 2008; Asai *et al.*, 2009),

Ketersediaan unsur hara secara alami dan serapan P oleh tanaman, sebagaimana unsur K, Ca, Zn dan Cu dalam beberapa kasus meningkat sebagai respons terhadap aplikasi arang, sementara pelepasan (pencucian) N menurun (Lehmann *et al.*,

2003a; DeLuca *et al.*, 2009; Major *et al.*, 2010a, c). Hasil panen padi terbukti meningkat dengan aplikasi *biochar* ketika diketahui tanah hanya memiliki ketersediaan P yang rendah (Asai *et al.*, 2009). Peristiwa abiotik seperti kekeringan diketahui menurunkan ketersediaan P. Sementara banyak reaksi kompleks dengan tanah liat dan bahan organik terjadi, belum jelas bagaimana perubahan fluks antara P yang tidak larut dan larut yang terkait dengan aplikasi *biochar*. Penjelasan mekanistiknya adalah termasuk *biochar* ketika bertindak sebagai sumber garam P yang dapat larut dan P yang dapat ditukar, sebagai pengubah pH tanah (yang memperbaiki logam pengkompleks P) dan sebagai penambah aktivitas mikroba dan karenanya secara tidak langsung terjadi mineralisasi P (DeLuca *et al.*, 2009). Misalnya, Steiner *et al.* (2008a) memiliki menunjukkan bahwa aplikasi *biochar* ke dataran tinggi Amazon mempengaruhi munculnya biomassa mikroba, yang dinyatakan sebagai peningkatan hasil metabolisme, yang dianggap meningkatkan kapasitas untuk melarutkan fosfat tanah.

Biochar umumnya, saat menggunakan inkubasi tanah pengujian, terlepas dari suhu produksi, memiliki potensi untuk meningkatkan P yang dapat diekstraksi (PO_4^{3-}) di dalam larutan tanah (Gundale dan DeLuca 2006, 2007). *Biochar* dapat mengubah ketersediaan P secara langsung melalui kapasitas pertukaran anion atau dengan mempengaruhi aktivitas/ketersediaan kation yang berinteraksi dengan P. Hal ini dapat menyebabkan oksida tanah dari unsur-unsur seperti aluminium dan besi tidak dapat berikatan dengan P terlarut yang memiliki keterkaitan dengan situs pertukaran *biochar* ini. Pengendapan fosfor juga mempengaruhi kelarutan P dan oleh karena itu juga jumlah yang tersedia untuk tanaman. Efektivitas (kekuatan ikatan ionik) dengan unsur apa P bergabung dan membentuk senyawa yang tidak larut dengan berbagai kation (Ca^{2+} , Al^{3+} dan $\text{Fe}^{2+/3+}$), dan selanjutnya mengendap, tergantung pada pH. *Biochar* dapat mengubah pH larutan tanah dan karena itu akan mengikat serta menyerap kation-kation dari logam ini, sehingga menghindari pengendapan dengan P. Kenaikan pH dapat meningkatkan oksida logam alkalin (Mg^{2+} , Ca^{2+} dan K^+). Hal ini menurunkan bentuk terlarut dari Aluminium

yang dianggap sebagai faktor *biochar* paling signifikan yang mempengaruhi kelarutan P (DeLuca *et al.*, 2009). Situasinya berbeda di tanah yang sudah bersifat basa atau netral; menambahkan logam alkali berpotensi meningkatkan ikatan Ca dengan P.

Biochar juga dapat memberikan efek tidak langsung pada ketersediaan P dan penyerapannya melalui perubahan lingkungan tanah untuk mikroorganisme. Jamur tanah simbiotik tercatat sebagai penambah efisiensi serapan P pada tanaman, terutama di tanah yang rendah unsurnya. Dalam kondisi ini *biochar* terbukti dapat meningkatkan hasil jagung dan kacang tanah dengan mengubah ketersediaan P (Yamato *et al.*, 2006). Kehadiran jamur simbiosis menguntungkan ini, seperti mikoriza, dan peningkatannya karena adanya *biochar*, dapat menjelaskan mengapa aplikasi nutrisi yang rendah dapat meningkatkan hasil cukup efektif. Mekanisme bagaimana hal ini bisa dicapai melibatkan hifa mikoriza yang meningkatkan intersepsi mineral yang berpotensi hilang sebagai lindi jika tidak ada *biochar* (Allen 2007). Proses untuk meningkatkan kesuburan tanah juga dapat meningkatkan tanaman gulma yang tidak diinginkan (Major *et al.*, 2003). Beberapa penelitian terbatas telah menunjukkan bahwa meskipun ada peningkatan substansial dalam tutupan lahan gulma disebabkan oleh penggunaan pupuk kandang dan kompos, penambahan *biochar* tidak mempengaruhi kelimpahan atau spesies gulma (Major *et al.*, 2005).

SIMPULAN

Kondisi tanah pertanian akan berubah seiring dengan jangka waktu dan metode pengelolaan yang tidak tepat. Pengabaian terhadap proses remediasi lahan pertanian yang tidak lagi baik akan berakibat signifikan terhadap produktivitas lahan terhadap tanaman yang dibudidayakan. Remediasi lahan pertanian yang menurun kualitasnya dapat dilakukan dengan bahan alam yang mudah, murah dan jumlahnya melimpah, namun mampu meningkatkan kualitas tanah dengan signifikan. *Biochar* yang dibuat dari biomassa yang tersedia melimpah di Indonesia dapat

difungsikan sebagai *biofertilizer*. *Biochar* dilaporkan dapat memperbaiki kualitas tanah secara signifikan dibandingkan dengan perlakuan pemupukan menggunakan pupuk komersial saja. Perbaikan kualitas tanah ini dianalisis melalui pengukuran parameter-parameter penting yang menunjukkan kualitas tanah. Selain itu, produktivitas tanah terhadap tanaman tertentu yang dibudidayakan juga dianalisis sebagai parameter penting yang mengindikasikan kembalinya kualitas tanah pada kondisi terbaiknya untuk keperluan budidaya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Negeri Semarang atas pendanaan penelitian melalui Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Universitas Negeri Semarang Nomor: DIPA-023.17.2.677507/2022, tanggal 17 November 2021, dengan Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Penelitian Dana DIPA UNNES Tahun 2022 Nomor 82.8.4/UN37/PPK.3.1/2022, tanggal 08 April 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexis, M.A., Rasse, D.P., Rumpel, C., Bardoux, G., Pechot, N., Schmalzer, P., Drake, B., & Mariotti, A., 2007. Fire Impact on C and N Losses and Charcoal Production in a Scrub Oak Ecosystem. *Biogeochemistry*, 82, pp.201–216.
- Allen, M.F., 2007. Mycorrhizal Fungi: Highways for Water and Nutrient Movement in Arid Soils. *Vadose Zone Journal*, 6, pp.291–297.
- Amonette, J.E., & Joseph, S., 2009. *Characteristics of Biochar: Microchemical Properties*. Chapter 3. Earthscan, London, pp.33–52.
- Ansley, R.J., Boutton, T.W., & Skjemstad, J.O., 2006. Soil Organic Carbon and Black Carbon Storage and Dynamics Under Different Fire Regimes and Temperate Mixed-Grass Savanna. *Glob Biogeochem Cycles*, 20.

- Asai, H., Samson, B.K., Stephan, H.M., Songyikhangsuthor, K., Inoue, Y., Shiraiwa, T., & Horie, T., 2009. Biochar Amendment Techniques for Upland Rice Production in Northern Laos: Soil Physical Properties, Leaf SPAD and Grain Yield. *Field Crops Res*, 111, pp.81–84.
- Atkinson, C.J., Fitzgerald, J.D., & Hipps, N.A., 2010. Potential Mechanisms for Achieving Agricultural Benefits from Biochar Application to Temperate Soils: A Review. *Plant Soil*, 337, pp.1–18.
- Bagreev, A., Bandosz, T.J., & Locke, D.C., 2001. Pore Structure and Surface Chemistry of Adsorbents Obtained by Pyrolysis of Sewage Sludge-Derived Fertilizer. *Carbon*, 39, pp.1971–1979.
- Berglund, L.M., DeLuca, T.H., & Zackrisson, T.H., 2004. Activated Carbon Amendments of Soil Alters Nitrification Rates in Scots Pine Forests. *Soil Biol Biochem*, 36, pp.2067–2073.
- Blackwell, P., Riethmuller, G., & Collins, M., 2009. *Biochar Application for Soil*. Chapter 12. Earthscan, London, pp.207–226.
- Chan, K.Y., & Xu, Z., 2009. *Biochar: Nutrient Properties and Their Enhancement*. Chapter 5. Earthscan, London, pp.67–84.
- Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., & Joseph, S., 2007. Agronomic Values of Green Waste Biochar as a Soil Amendment. *Aust J Soil Res*, 45, pp.629–634.
- Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., & Joseph, S., 2008. Using Poultry Litter Biochars as Soil Amendments. *Aust J Soil Res*, 46, pp.437–444.
- Cheng, C.-H., Lehmann, J., & Engelhard, M.H., 2008. Natural Oxidation of Black Carbon in Soils: Changes in Molecular Form and Surface Change Along a Climosequence. *Geochim Cosmochim Acta*, 72, pp.1598–1610.
- Cheng, C.-H., Lehmann, J., Thies, J.E., Burton, S.D., & Engelhard, M.H., 2006. Oxidation of Black Carbon by Biotic and Abiotic Processes. *Org Geochem*, 37, pp.1477–1488.

- DeLuca, T.H., MacKenzie, M.D., & Gundale, M.J., 2009. *Biochar Effects on Soil Nutrient Transformation*. Chapter 14. Earthscan, London, pp.251–280.
- DeLuca, T.H., MacKenzie, M.D., Gundale, M.J., & Holben, W.E., 2006. Wildfire-Produced Charcoal Directly Influences Nitrogen Cycling in Ponderosa Pine Forests. *Soil Sci Soc Am J*, 70, pp. 448–453.
- Downie, A., Crosky, A., & Munroe, P., 2009. *Physical Properties of Biochar*. Chapter 2. Earthscan, London: 13–32.
- Fischer, D., & Glaser, B., 2012. Synergisms between Compost and Biochar for Sustainable Soil Amelioration. dalam: Kumar, S. & Bharti, A. *Management of Organic Waste*. IntechOpen.
- Glaser, B., Balashov, E., Haumaier, L., Guggenberger, G., & Zech, W., 2000. Black Carbon in Density Fractions of Anthropogenic Soils of the Brazilian Amazon Region. *Org Geochem*, 31, pp. 669–678.
- Glaser, B., Lehmann, J., Zech, W., Glaser, B., Lehmann, J., & Zech, W., 2002. Ameliorating Physical and Chemical Properties of Highly Weathered Soils in the Tropics with Charcoal—a Review. *Biol Fertil Soils*, 35, pp.219–230.
- Gundale, M.J., & DeLuca, T.H., 2006. Temperature and Source Material Influence Ecological Attributes of Ponderosa Pine and Douglas-fir Charcoal. *For Ecol Manage*, 231, pp.86–93.
- Gundale, M.J., & DeLuca, T.H., 2007. Charcoal Effects on Soil Solution Chemistry and Growth of *Koeleria Macrantha* in the Ponderosa Pine/Douglas-fir Ecosystem. *Biol Fertil Soils*, 43, pp.303–311.
- Hamer, U., Marschner, B., Bordowski, S., & Amelung, W., 2004. Interactive Priming of Black Carbon and Glucose Mineralisation. *Org Geochem*, 35, pp.823–830.
- Jeffrey, S., Verheijen, F.G.A., van der Velde, M., & Bastos, A.C., 2011. A Quantitative Review of the Effects of Biochar Application to Soils on Crop Productivity Using Meta-Analysis. *Agric Ecosyst Environ*, 144, pp.175–187.
- Jones, D.L., Rousk, J., Edwards-Jones, G., DeLuca, T.H., & Murphy, D.V., 2012. Biochar-Mediated Changes in Soil Quality and

- Plant Growth in a Three Year Field Trial. *Soil Biol Biochem*, 45, pp.113–124.
- Kammann, C., Linsel, S., Goeßling, J., & Kyoro, H., 2011. Influence of Biochar on Drought Tolerance of *Chenopodium quinoa* Wild and on Soil-Plant Relations. *Plant Soil*, 345, pp.195–210.
- Karhu, K., Mattila, T., Bergstroem, I., & Regina, K., 2011. Biochar Addition to Agricultural Soil Increased CH₄ Uptake and Water Holding Capacity— Results from a Short-Term Pilot Field Study. *Agric Ecosyst Environ*, 140, pp.309–313.
- Kim, J.-S., Sparovek, G., Long, R.M., De Melo, W.J., & Crowley, D., 2007. Bacterial Diversity of Terra Preta and Pristine Forest Soil from the Western Amazon. *Soil Biol Biochem*, 39, pp. 684–690.
- Knowles, O.A., Robinson, B.H., Contangelo, A., & Clucas, L., 2011. Biochar for the Mitigation of Nitrate Leaching from Soil Amended with Biosolids. *Sci Total Environ*, 409, pp.3206–3210.
- Kwon, S., & Pignatello, J.J., 2005. Effects of Natural Organic Substances on the Surface and Adsorptive Properties of Environmental Black Carbon (Char): Pseudo Pore Blockage by Model Lipid Components and Its Implications for N₂-Probed Surface Properties of Natural Sorbents. *Environ Sci Technol*, 39, pp.7932–7939.
- Lehmann, J., da Silva Jr., J.P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., & Glaser, B., 2003a. Nutrient Availability and Leaching in an Archaeological Anthrosol and Ferralsol of the Central Amazon Basin: Fertilizer, Manure and Charcoal Amendments. *Plant Soil*, 249, pp.343–357.
- Lehmann, J., Gaunt, J., & Rondon, M., 2005. Biochar Sequestration in Terrestrial Ecosystems—A Review. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*, 11, pp.403–427.
- Lehmann, J., Kern, D., German, L., McCann, J., Martins, G.C., & Moreira, L., 2003c. Soil Fertility and Production Potential. Chapter 6. dalam: Lehmann, J., Kern, D.C., Glaser, B., & Woods, W.I. (ed.) *Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management*. Kluwer Academic, Dordrecht, pp. 105–124.

- Leifeld, J., Fenner, S., & Muller, M., 2007. Mobility of Black Carbon in Drained Peatland Soils. *Biogeosciences*, 4, pp.425–432.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J.O., Thies, J., Luizao, F.J., Peterson, J., & Neves, E.G., 2006. Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. *Soil Sci Soc Am J*, 70, pp.1719–1730.
- Liu, J., Schulz, H., Brandl, S., Miethke, H., Huwe, B., & Glaser, B., 2012. Shortterm Effect of Biochar and Compost on Soil Fertility and Water Status of a Dystric Cambisol in NE Germany Under Field Conditions. *J Plant Nutr Soil Sci*, 175, pp.698–707.
- Liu, X., Zhang, A., Ji, C., Joseph, S., Bian, R., Li, L., Pan, G., & Jorge Paz-Ferreiro, J., 2013. Biochar's Effect on Crop Productivity and the Dependence on Experimental Conditions—a Meta-Analysis of Literature Data. *Plant Soil*, 373, pp.583–594.
- Lua, A.C., & Yang, T., 2004. Effects of Vacuum Pyrolysis Conditions on the Characteristics of Activated Carbons Derived from Pistachio-Nut Shells. *J Colloid Interface Sci*, 276, pp.364–372.
- Mahmood, S., Finlay, R.D., Fransson, A.-M., & Wallander, H., 2003. Effects of Hardened Wood Ash on Microbial Activity, Plant Growth and Nutrient Uptake by Ectomycorrhiza Spruce Seedlings. *FEMS Microbiol Ecol*, 43, pp.121–131.
- Major, J., Lehmann, J., Rondon, M., & Goodale, C., 2010a. Fate of Soil-Applied Black Carbon: Downward Migration, Leaching and Soil Respiration. *Glob Chang Biol*, 16, pp.1366–1379.
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S.J., & Lehmann, J., 2010b. Maize Yield and Nutrition During 4 Years After Biochar Application to a Colombian Savanna Oxisol. *Plant Soil*, 333, pp.117–128.
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S.J., & Lehmann, J., 2010c. Maize Yield and Nutrition During 4 Years After Biochar Application to a Colombian Savanna Oxisol. *Plant and Soil*, 333, pp.117–128.
- Major, J., Steiner, C., Downie, A., & Lehmann, J., 2009. Biochar Effects on Nutrient Leaching. Chapter 15. dalam: Lehmann, J. & Joseph, S. (ed.) *Biochar for Environmental Management Science and Technology*. Earthscan, London, pp.271–287.

- Mustafa, A., Brtnicky, M., Hammerschmiedt, T., Kucerik, J., Kintl, A., Chorazy, T., Naveed M., Skarpa, P., Baltazar, T., Malicek, O., Holatko J., 2022. Food and Agricultural Wastes-Derived Biochars in Combination with Mineral Fertilizer as Sustainable Soil Amendments to Enhance Soil Microbiological Activity, Nutrient Cycling and Crop Production. *Frontiers in Plant Science*, 13.
- Nguyen, B.T., & Lehmann, J., 2009. Black Carbon Decomposition Under Varying Water Regimes. *Org Geochem*, 40, pp.846–853.
- Nurida,, N.L., Dariah, A., & Rachman, A., 2013. Peningkatan Kualitas Tanah dengan Pembenh Tanah Biochar Limbah Pertanian. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 37(2), pp.69-78.
- O'Neill, B., Grossman, J., Tsai, M.T., Gomes, J.E., Lehmann, J., Peterson, J., Neves, E., & Thies, J.E., 2009. Bacterial Community Composition in Brazilian Anthrosols and Adjacent Soils Characterized Using Culturing and Molecular Identification. *Microb Ecol*, 58, pp.23–35.
- Pietikäinen, J., Kiikkilä, O., & Fritze, H., 2000. Charcoal as a Habitat for Microbes and Its Effect on the Microbial Community of the Underlying Humus. *Oikos*, 89, pp.231–242.
- Pignatello, J.J., Kwon, S., & Lu, Y., 2006. Effects of Natural Organic Substances on the Surface and Adsorptive Properties of Environmental Black Carbon (Char): Attenuation of Surface Activity by Humic and Fulvic Acids. *Environ Sci Technol*, 40, pp.7757–7763.
- Rondon, M.A., Lehmann, J., Ramirez, J., & Hurtado, M., 2007. Biological Nitrogen Fixation by Common Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Increases with Bio-Char Additions. *Biol Fertil Soils*, 43, pp.699–708.
- Rovira, P., Duguay, B., & Vallejo, V.R., 2009. Black Carbon in Wildfire-Affected Shrubland Mediterranean Soils. *J Plant Nutr Soil Sci*, 172, pp.43–52.
- Schmidt, M.W.I., & Noack, A.G., 2000. Black Carbon in Soils and Sediments: Analysis, Distribution, Implications and Current Challenges. *Glob Biogeochem Cycles*, 14, pp.777–793.

- Solomon, D., Lehmann, J., Thies, J., Schafer, T., Liang, B., Kinyangi, J., Neves, E., Peterson, J., Luizao, F., & Skjemstad, J., 2007b. Molecular Signature and Sources of Biochemical Recalcitrance of Organic C in Amazonian Dark Earths. *Geochim Cosmochim Acta*, 71, pp.2285–2298.
- Spokas, K.A., & Reicosky, D.C., 2009. Impacts of Sixteen Different Biochars on Soil Greenhouse Gas Production. *Ann Environ Sci*, 3, pp.179–193.
- Steiner, C., Das, K.C., Garcia, M., Forester, B., & Zech, W., 2008a. Charcoal and Smoke Extract Stimulate the Soil Microbial Community in a Highly Weathered Xanthic Ferralsol. *Pedobiologia*, 51, pp.359–366.
- Steiner, C., de Arruda, M.R., Teixeira, W.G., & Zech, W., 2008b. Soil Respiration Curves as Soil Fertility Indicators in Perennial Central Amazonian Plantations Treated with Charcoal, and Mineral or Organic Fertilisers. *Trop Sci*, 2008
- Steiner, C., Glaser, B., Teixeira, W.G., Lehmann, J., Blum, W.E.H., & Zech, W., 2008c. Nitrogen Retention and Plant Uptake on a Highly Weathered Central Amazonian Ferraisol Amended with Compost and Charcoal. *J Plant Nutr Soil Sci*, 171, pp.893–899.
- Teixeira, W.G., & Martins, G.C., 2003. Soil Physical Characterization. Chapter 15. dalam: Lehmann, J., Kern, D.C., Glaser, B., & Woods, W.I. (ed.) *Amazonian Dark Earths Origin Properties Management*. Kluwer Academic, Dordrecht, pp.271–286.
- Thies, J.E., & Rillig, M.C., 2009. Characteristics of Biochar: Biological Properties. Chapter 6. dalam: Lehmann, J. & Joseph, S. (ed.) *Biochar for Environmental Management Science and Technology*. Earthscan, London, pp.85–10.
- Troeh, F.R., & Thompson, L.M., 2005. *Soils and Soil Fertility*. Edisi 5. Blackwell, Iowa.
- Trompowsky, P.M., Benites, V.M., Madari, B.E., Pimenta, A.S., Hockaday, W.C., & Hatcher, P.G., 2005. Characterisation of Humic Like Substances Obtained by Chemical Oxidation of Eucalyptus Charcoal. *Org Geochem*, 36, pp.1480–1489.

- Uchimiya, M., Chang, S., & Klasson, K.T., 2011. Screening Biochars for Heavy Metal Retention in Soil: Role of Oxygen Functional Groups. *J Hazard Mater*, 190, pp.432–441.
- USBI News., 2022. *Biochar Enhances Crop Yield, Enriches Soil & Protects Water*.
- Uzoma, K.C., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A., & Nishihara, E., 2011. Effect of Cow Manure Biochar on Maize Productivity Under Sandy Soil Condition. *Soil Use Manag*, 27, pp.205–212.
- Van Zwieten, L., Singh, B., Joseph, S., Kimber, S., Cowie, A., & Chan, K.Y., 2009. Biochar and Emission of Non-CO₂ Greenhouse Gases from Soil. Chapter 13. dalam: Lehmann, J. & Joseph, S. (ed.) *Biochar for Environmental Management Science and Technology*. Earthscan, London, pp.227–249.
- Wiedner, K., Rumpel, C., Steiner, C., Pozzi, A., Maas, R., & Glaser, B., 2013. Chemical Evaluation of Chars Produced by Thermochemical Conversion (Gasification, Pyrolysis and Hydrothermal Carbonization) of Agro-Industrial Biomass on a Commercial Scale. *Biomass Bioenergy*, 59, pp.264–278.
- Woolf, D., 2008. *Biochar as a Soil Amendment: a Review of the Environmental Implications*.
- Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I.F., Anshori, S., & Ogawa, M., 2006. Effects of the Application of Charred Bark in Acacia Mangium on the Yield of Maize, Cowpea, Peanut and Soil Chemical Properties in South Sumatra, Indonesia. *Soil Sci Plant Nutr*, 52, pp.489–495.



ISSN 2961-7448

