



Research Article



Literature Review: Pemanfaatan Jenis-Jenis Syzygium di Indonesia

Ajeng Mudaningrat¹, Betty Shinta Indriani², Naila Istianah³, Amin Retnoningsih⁴, Enni Suwarsi Rahayu⁵

^{1,2,3,4,5} Program Studi Pendidikan IPA Pascasarjana Universitas Negeri Semarang, Jawa Tengah, Indonesia

Email: ajengmudaningrat87@students.unnes.ac.id¹, shintaindri@student.unnes.ac.id²,

nailaistianah2107@students.unnes.ac.id³, aminretoningsih2016@mail.unnes.ac.id⁴, enni_sr@mail.unnes.ac.id⁵

Penerbit	ABSTRACT
Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Nusantara PGRI Kediri	<p>Syzygium is one of the flora from the Myrtaceae family which is used by Indonesian people in various ways. This article is structured to analyze the various roles of the Syzygium species. The method used in preparing this article is a study of literature from various reputable international journals. Several types of Syzygium discussed in this article are <i>S. jambos</i>, <i>S. fibrosum</i>, <i>S. cumini</i>, <i>S. malaccense</i>, <i>S. samarangense</i>, <i>S. densiflorum</i>, <i>S. grande</i>, <i>S. aromaticum</i> and others. Plants belonging to the Syzygium have various roles including as a food ingredient, a role in agriculture, as a bioremediation agent for polluted environments and as a medicinal ingredient. The role of Syzygium in agriculture includes as a natural pesticide and as a weed control agent. The role of Syzygium in the environmental field is as a bioremediation agent for environments polluted by heavy metals, soil polluted by industrial waste and waterlogged soil with high salinity. Phytochemical compounds found in <i>Syzygium cumini</i> have the potential to be used as medicinal ingredients because they have therapeutic effects because they contain anthocyanins, phenols and polyphenols, compounds that function as antioxidants and anti-inflammatories that function to control oxidative stress in preeclampsia. With this article, it is hoped that the public will be able to find out the various roles of plants from members of the Syzygium so that they can make maximum use of them.</p> <p>Key words: <i>biodiversity; Syzygium; role in agriculture; environment; natural medicine.</i></p>
	<p style="text-align: center;">ABSTRAK</p> <p>Syzygium merupakan salah satu flora dari famili Myrtaceae yang dimanfaatkan oleh masyarakat Indonesia dalam berbagai hal. Artikel ini disusun untuk menganalisis macam-macam peranan jenis Syzygium. Metode yang digunakan dalam penyusunan artikel ini studi literatur dari berbagai jurnal internasional bereputasi. Beberapa jenis Syzygium yang dibahas dalam artikel ini adalah <i>S. jambos</i>, <i>S. fibrosum</i>, <i>S. cumini</i>, <i>S. malaccense</i>, <i>S. samarangense</i>, <i>S. densiflorum</i>, <i>S. grande</i>, <i>S. aromaticum</i> dan lain-lain. Tanaman anggota Syzygium memiliki berbagai peranan diantaranya sebagai bahan pangan, berperan dalam bidang pertanian, sebagai agen bioremediasi lingkungan yang tercemar dan sebagai bahan obat-obatan. Peranan Syzygium dalam bidang pertanian diantaranya sebagai pestisida alami dan sebagai agen pengendali gulma. Peranan Syzygium dalam bidang lingkungan adalah sebagai salah satu agen bioremediasi terhadap lingkungan yang tercemar logam berat, tanah yang tercemar limbah industri dan tanah tergenang air dengan salinitas tinggi. Senyawa fitokimia yang terdapat pada <i>Syzygium cumini</i> berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan obat-obatan karena memiliki efek teuraupetik karena mengandung antosianin, fenol dan polifenol, senyawa yang berfungsi sebagai antioksidan dan antiinflamasi yang berfungsi untuk mengendalikan stress oksidatif pada preeklamsia. Dengan adanya artikel ini diharapkan masyarakat dapat mengetahui berbagai peranan tanaman dari anggota Syzygium sehingga dapat memanfaatkan dengan maksimal.</p> <p>Kata kunci: keanekaragaman hayati; syzygium; peranan dalam bidang pertanian; lingkungan; obat alami.</p>

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang mempunyai keanekaragaman flora dan fauna tinggi disebabkan posisi geografi yang strategis (Retnowati, *et al.*, 2019). Terdapat ±28.000 jenis tumbuhan, mencakup 400 jenis buah-buahan yang dapat dikonsumsi dan sangat bermanfaat (Jadda, 2019) diantaranya mangga (*Mangifera indica*), pepaya (*Carica papaya*), pisang (*Musa accuminata*) dan jambu (*Syzygium spp.*) (Silalahi, 2018). *Syzygium* merupakan genus yang berasal dari famili Myrtaceae terdiri sekitar 1200–1800 spesies. Kata *Syzygium* berasal dari bahasa Yunani dengan arti “berpasangan”, menggambarkan cabang dan daun yang berpasangan. Genus ini memiliki distribusi yang luas, dengan spesies asli berasal dari daerah tropis dan subtropis wilayah Afrika, Madagaskar, Asia, Oseania, Pasifik dan tingkat tertinggi keragaman berada di Malaysia sampai Australia (Cock & Cheesman, 2019). *Syzygium* banyak ditemukan di hutan hujan dataran rendah hingga pegunungan, rawa, hutan ultrabasa, sabana hingga hutan kapur yang paling umum di ekosistem hutan. *Syzygium* secara morfologis dikategorikan oleh daun sempit, tangkai daun pendek, ranting lentur, dan daun berjejal di ujung ranting. *Syzygium* biasanya mekar secara massal di hutan hujan tropis yang dapat dijadikan sumber makanan untuk burung, serangga, dan mamalia (Uddin, *et al.*, 2022).

Banyak anggota dari genus *Syzygium* memiliki nilai ekonomis dan telah digunakan sebagai makanan, obat-obatan dan bahan bangunan (Irawan, *et al.*, 2016). Beberapa jenis menghasilkan buah yang dapat dimakan dan digunakan secara komersial menjadi selai dan jeli yaitu *Syzygium jambos* dan *Syzygium fibrosum*. Genus *Syzygium* dapat dimanfaatkan sebagai rempah-rempah pada masakan yaitu cengkeh (*Syzygium aromaticum*) pada bagian kuncup bunga yang belum membuka (Uddin, *et al.*, 2022). Jenis-jenis dari genus *Syzygium* digunakan sebagai obat untuk menyembuhkan berbagai penyakit, diantaranya minyak atsiri yang dihasilkan dari *Syzygium aromaticum* secara tradisional digunakan dalam pengobatan luka maupun luka bakar, pereda nyeri dalam perawatan gigi serta mengobati infeksi dan sakit gigi (Batiha, *et al.*, 2020). *Syzygium cordatum* dan *Syzygium guineense* digunakan untuk sakit perut, gangguan pencernaan, dan diare (Dharani, 2016). *Syzygium cumini* digunakan untuk mengobati diare, disentri, menorrhagia, asma, dan bisul (Uddin, *et al.*, 2022). *Syzygium jambos* (L.) secara tradisional digunakan untuk mengobati perdarahan, sifilis, kusta, luka, bisul, dan penyakit paru-paru (Reis, *et al.*, 2021). *Syzygium malaccense* (L.) digunakan untuk mengobati sariawan dan haid tidak teratur. Bunga *Syzygium samarangense* digunakan untuk mengobati diare, demam dan *Syzygium suboriculare* digunakan untuk mengobati batuk dan pilek, diare, dan disentri (Cock & Cheesman, 2018). *Syzygium caryophyllatum*, *Syzygium cumini*, *Syzygium malaccense*, dan *Syzygium samarangense* digunakan untuk mengobati diabetes melitus (Uddin, *et al.*, 2022). Beberapa jenis dari genus *Syzygium* dapat dimanfaatkan sebagai bahan bangunan karena memiliki kayu dengan kualitas yang baik diantaranya adalah *Syzygium calophyllifolium*, *Syzygium cerasoides*, *Syzygium cavan*, *Syzygium densiflorum*, *Syzygium grande* digunakan untuk konstruksi, furnitur, lantai, tiang telegraf, galeri tambang, bantalan rel kereta api, papan bawah gerbong kereta api, kotak kemasan, papan serat, dan kayu lapis (Wangkhem, 2020).

Pemanfaatan jenis-jenis *Syzygium* umumnya hanya terfokus pada bahan makanan, obat-obatan dan bahan bangunan, namun pemanfaatan jenis-jenis *Syzygium* dalam bidang pertanian dan lingkungan belum dilakukan secara maksimal. Pemanfaatan jenis-jenis *Syzygium* pada bidang pertanian memiliki kelebihan diantaranya mudah terurai di alam sehingga tidak mencemari lingkungan

dan relatif aman bagi manusia serta hewan peliharaan karena residunya mudah hilang, mudah diperoleh di alam, cara pembuatannya relatif murah, dan mudah tumbuh pada tanah marginal yang terjal dan berbatu (sistem perakarannya berakar tunggang dan kompak (Palmolina, 2019). Pemanfaatan jenis-jenis *Syzygium* pada bidang lingkungan memiliki kelebihan yaitu efektif, mudah, dan murah dalam mengurangi kontaminan pada media lingkungan seperti air, tanah, dan udara dalam menyerap kontaminan melalui akar kemudian menyimpan kontaminan tersebut pada bagian tubuh tumbuhan (Sanito, 2018).

Kurang maksimalnya pemanfaatan jenis-jenis *Syzygium* dalam bidang pertanian dan lingkungan membuat masyarakat lebih banyak menggunakan bahan-bahan kimia yang memberikan dampak negative bagi lingkungan. Dampak negatif tersebut akan menimbulkan berbagai masalah baik secara langsung ataupun tidak yang akan berpengaruh terhadap kesehatan dan kesejahteraan manusia (Arif, 2015) selain itu juga menimbulkan pencemaran dan gangguan ekologis (Tuhuteru, *et al.*, 2019). Diperlukannya kajian lebih mendalam mengenai pemanfaatan jenis-jenis *Syzygium* dalam bidang pertanian dan lingkungan sehingga adalah pada bab ini menitikberatkan pembahasan mengenai aplikasi pada pemanfaatan jenis-jenis *Syzygium* dalam bidang pertanian, lingkungan dan aplikasi terapeutik dari *Syzygium cumini* yang diharapkan dapat memberikan informasi secara luas kepada masyarakat Indonesia agar mengurangi penggunaan bahan kimia berbahaya dalam kehidupan dan menggantinya menggunakan bahan alami yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan.

METODE PENELITIAN

Kajian studi literatur dilakukan pada bulan November sampai dengan Desember 2022. Sumber acuan/pustaka diambil berdasarkan hubungan atau relasinya dengan judul studi literatur yang akan dikaji. Sumber pustaka tersebut berupa artikel yang diambil dari jurnal nasional dan internasional yang bereputasi. Pencarian artikel ini menggunakan Google scholar, *Harzing Publish or Perish*, dan ProQuest. Dalam pembuatan literature review diawali dengan pembuatan resume dan kerangka studi literature secara umum yang memuat hal-hal penting yang akan dikaji berdasarkan judul yang telah ditentukan. Tahap berikutnya adalah mulai menyusun studi literatur sesuai dengan kerangka yang telah disusun berdasarkan informasi-informasi yang telah diperoleh dari berbagai sumber acuan kemudian dianalisis secara deskriptif dan dievaluasi serta dilanjutkan dengan pembuatan kesimpulan (Ningsih, *et al.*, 2023).

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

PEMANFAATAN SYZYGIUM SEBAGAI PESTISIDA ALAMI (BIOKONTROL)

Upaya yang dilakukan untuk mengurangi pencemaran lingkungan dan dampaknya terhadap sistem kehidupan dengan cara mengganti pestisida sintetik dengan pestisida alami yang berasal dari tumbuhan. Tumbuhan yang dapat dijadikan sebagai pestisida alami salah satunya berasal dari genus *Syzygium*. Cengkeh (*Syzygium aromaticum*) merupakan kuncup bunga kering aromatik yang tumbuh di iklim tropis yang panas (Suleiman, *et al.*, 2019). Cengkeh (*Syzygium aromaticum*) berpotensi sebagai antimikroba, fungisida, dan insektisida dalam memberantas serangga (Milicevic, *et al.*, 2022). Kandungan ekstrak etanol kuncup bunga kering cengkeh (*Syzygium aromaticum*) diteliti untuk mengetahui aktivitas antijamur terhadap jamur penyebab infeksi pascapanen dari kentang dan tomat.

Teknik yang digunakan adalah Teknik TLC (*Thin Layer Chromatografi*) dan sistem pelarut yang berbeda digunakan untuk memilih pita yang tepat berdasarkan kapasitasnya untuk mengisolasi jumlah maksimum bercak fluoresen dalam ekstrak kasar. Kloroform-aseton-butanol (CAB) 85:15:20 dapat secara efisien memisahkan tiga pita (A, B dan C). Setiap pita yang terdeteksi disaring untuk melihat aktivitas antijamurnya terhadap jamur yang diisolasi. Hasilnya terdapat empat isolat jamur yang teridentifikasi yaitu *Geotrichum candidum*, *Alternaria alternata*, *Fusarium oxysporum* dan *Mucor hiemalis*. Semua isolat jamur ditemukan dihambat oleh ekstrak cengkeh (*Syzygium aromaticum*) dengan zona hambat terkecil pada *Mucor hiemalis*, *Geotrichum candidum*, *Alternaria alternata* sebesar 2,5% dan pada *Fusarium oxysporum* sebesar 12,5%. Senyawa fitokimia yang terkandung dalam cengkeh (*Syzygium aromaticum*) terdapat adanya asam fenolat 2,80%, flavonoid 2,81%, tanin 4,90%, saponin 2,60%, alkaloid 1,60%, protein total 17,83%, karbohidrat total 2,23% dan minyak total 0,90% (Suleiman, *et al.*, 2019). Profil biokimia Cengkeh (*Syzygium aromaticum*) terdapat 18 senyawa kimia yang berbeda dengan senyawa utamanya adalah eugenin, asam oleanoat, asam galotamat, fanilin, karyofilin, resin dangom (Widiyanti, *et al.*, 2022). Berbagai kandungan senyawa yang memberikan efek sinergisme disertai interaksi dengan protein atau enzim yang berbeda yang menyebabkan cengkeh (*Syzygium aromaticum*) memiliki aktivitas antijamur sehingga cengkeh (*S. aromaticum*) merupakan bahan yang cocok, ramah lingkungan dan aman sebagai alternatif pestisida kimia dan potensinya digunakan sebagai fungisida hayati untuk pengendalian infeksi pascapanen tanaman tomat dan kentang (Suleiman, *et al.*, 2019).

Tiga formulasi baru minyak atsiri cengkeh (*Syzygium aromaticum*) berbentuk *emulsifiable concentrate* (EC) dengan pembawanya yaitu Zeolit sintesis (F-CSZ), Zeolit alam (F-CNZ) dan gelatin (F-CG) dibuat untuk mengembangkan biopestisida ramah lingkungan yang digunakan sebagai perlindungan tanaman. Teknik yang digunakan adalah teknik enkapsulasi untuk mengaktifkan kelarutan air dan memastikan khasiat minyak atsiri yang berkepanjangan. Aktivitas biologis akan diuji pada hama terpilih dan patogen, yang dapat ditemukan di lapangan terbuka maupun dalam kondisi penyimpanan, (1) ngengat umbi kentang *Phthorimaea operculella* sebagai hama yang paling merusak Solanaceae, (2) patogen kapang abu-abu *Botrytis cinerea*, yang menginfeksi buah-buahan seperti beri, anggur, dan beberapa spesies sayuran, dan (3) patogen bakteri busuk lunak *Pectobacterium carotovorum* dan *Dickeya dianthicola* merusak berbagai tanaman. Hasil yang didapatkan bahwa Formulasi yang paling menjanjikan adalah aktivitas yang mengaktifkan F-CSZ selama 14 hari paparan, sedangkan efek dari dua formulasi lainnya berlangsung selama 10 hari. Ketiga formulasi tersebut menghasilkan efek fungisida yang kuat terhadap *B. cinerea* dengan mencegah infeksi dan perkembangan penyakit. Khasiat terbaik adalah dibuktikan dengan F-CSZ (zeolit sintetis sebagai pembawa) menunjukkan kemanjuran 100% ketika digunakan bahkan pada konsentrasi teruji terendah dari formulasi minyak atsiri aktif (1%). Hasil pengujian *in vitro* terhadap patogen busuk lunak menentukan nilai formulasi minyak atsiri sebesar 1% dari minyak atsiri aktif. Terdapat perspektif baru tentang penggunaan minyak atsiri sebagai biopestisida lingkungan alternatif. Formulasi tersebut dapat dieksploitasi secara komersial dijadikan pengawet untuk memperpanjang umur simpan produk yang disimpan atau pasar buah segar (Milicevic, *et al.*, 2022).

Benih dan minyak *Syzygium aromaticum* yang menunjukkan efek penghambatan terhadap bakteri *Xanthomonas axonopodis* *pv.* *malvacearum* (Xam) yang diisolasi dan mencatat zona

penghambatan (6 mm). *Xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum* (Xam) merupakan bakteri yang dapat menyebabkan penyakit bercak daun pada kapas (*Gossypium spp.*). Kapas (*Gossypium spp.*) adalah tanaman penghasil serat yang merupakan tanaman komersial. Pada penelitian ini dilakukan perbedaan konsentrasi senyawa kitosan (1,3, 5 dan 10 mg/ml), empat belas strain bakteri antagonis *Paenibacillus*, ekstrak air dan minyak pada tumbuhan *Syzygium aromaticum* dan urine unta disaring khasiatnya dalam menghambat pertumbuhan *Xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum* in vitro (Osman, et al., 2016).

Bahan aktif yang diekstraksi dari *Syzygium aromaticum* dengan berbantuan ultrasound (UAE). *F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum* dan *F. oxysporum* f. sp. *niveum* dihambat oleh ekstrak tumbuhan, dan laju penghambatan diukur dengan metode laju pertumbuhan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan miselium dihambat secara signifikan oleh ekstrak, dan efek antibakteri meningkat secara signifikan ketika konsentrasi ekstrak ditingkatkan (Lei, et al., 2012).

Syzygium cumini memiliki aktivitas pestisida karena dapat memberantas patogen dan serangga. Ekstrak dari kulit kayu dan daun *S. cumini* menurunkan produksi lesi lokal oleh virus mosaik lobak pada *Chenopodium amaranticolor* dalam waktu empat jam setelah aplikasi pada perlakuan prainokulasi (Nair, 2017). Ekstrak metanol *S. cumini* menunjukkan efek penghambatan maksimum terhadap *Xanthomonas campestris* (Uma et al. 2012). Terdapat potensi antijamur ekstrak air daun, kulit kayu, biji, dan buah *S. cumini* terhadap dua patogen tanaman jamur penting, *Alternaria alternata* dan *Fusarium oxysporum*. Hasil menunjukkan bahwa di antara berbagai bagian tanaman, ekstrak air buah paling efektif terhadap pertumbuhan *F. oxysporum* dibandingkan dengan ekstrak lainnya, sedangkan ekstrak air kulit kayu berpotensi menghambat pertumbuhan *A. alternata* (Gupta & Bhadauria, 2012). Terdapat aktivitas antijamur ekstrak metanol daun *S. cumini* terhadap dua strain *A. alternata*, yang diisolasi dari pohon hampir mati. Ekstrak metanol secara signifikan mengurangi biomassa jamur. Ada pengurangan dalam kisaran 82%–88% dalam biomassa strain *A. alternata* karena perbedaan konsentrasi ekstrak daun *S. cumini*. Penelitian menyimpulkan bahwa fraksi air dan n-butanol ekstrak daun metanol *S. cumini* dapat digunakan sebagai biofungisida untuk pengelolaan *A. alternata* (Arshad & Samad, 2012).

Proses menilai aktivitas antibakteri dan antioksidan minyak atsiri daun *S. cumini* dengan menggunakan metode MICs dan 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH). Komposisi minyak utama adalah α -pinene (17,53%), α -terpineol (16,67%), dan alloocimene (13,55%). Minyak menunjukkan aktivitas penghambatan yang kuat terhadap strain bakteri yang diuji dan aktivitas antioksidan total (TAA) adalah 11,13%. Dengan demikian, pekerjaan tersebut mengungkapkan bahwa minyak daun yang dipelajari adalah sumber potensial antioksidan dan senyawa antibakteri baru yang menjanjikan dan aplikasi praktis yang baik di masa depan untuk kesehatan manusia dan tanaman (Elansari, et al., 2012).

PEMANFAATAN SYZYGIUM DALAM PENGENDALIAN GULMA

Kehadiran gulma merupakan kendala dalam produksi sistem pertanian di Indonesia karena menjadi kompetitor bagi tanaman yang dibudidayakan petani sehingga menyebabkan menurunnya hasil pertanian. Gulma biasanya dikendalikan dengan menggunakan cara mekanis dan juga herbisida sintetik. Metode mekanis dapat memakan waktu, sementara penerapan herbisida kimia tidak hanya

menciptakan dampak berbahaya yang dirasakan pada produk pertanian, tetapi juga meningkatkan pencemaran lingkungan. Risiko perkembangan resistensi gulma dan rasio biaya yang tinggi merupakan kerugian lain dari penggunaan herbisida dan pestisida sintetik. Oleh karena itu, dibutuhkan strategi penggunaan herbisida yang sehat dan aman seperti efek alelopati tanaman (Nair, 2017).

Alelopati pada tanaman menghasilkan senyawa alelokimia yang dapat digunakan tumbuhan untuk pertahanan terhadap gangguan lingkungan. Mekanisme penghambatan pertumbuhan oleh alelokimia sangat mirip dengan mekanisme penghambatan oleh herbisida sintesis, sehingga memungkinkan penggunaan alelokimia sebagai bioherbisida. Kelebihan bioherbisida dibanding herbisida sintetik adalah larut dalam air sehingga mudah diaplikasikan, memiliki banyak molekul kaya oksigen dan nitrogen, sedikit mengandung "atom berat", dan memiliki paruh waktu yang pendek sehingga tidak terjadi akumulasi senyawa di dalam tanah serta kecil kemungkinan menimbulkan dampak pada organisme non target (Darmanti, 2018).

Tanaman yang memiliki kandungan alelopati dan berpotensi digunakan sebagai herbisida alami salah satunya berasal dari Genus *Syzygium*. *Syzygium aromaticum* menghasilkan senyawa aromatik yaitu minyak atsiri yang dapat digunakan sebagai pengendali gulma. Hal tersebut dikarenakan kandungan dari minyak atsiri diantaranya terdapat sekelompok besar metabolit sekunder yaitu Terpene. Monoterpen (hidrokarbon dan monoterpen teroksigenasi) dan seskuiterpen (hidrokarbon dan seskuiterpen teroksigenasi). Senyawa pada minyak atsiri dengan aktivitas penghambatan perkecambahan yang signifikan adalah kandungan monoterpen yang relatif tinggi terutama yang mengandung oksigen, carvacrol, thymol, α - β -pinene, 1,8 cineole, borneol, dan limonene. Mekanisme kerja minyak atsiri sebagai penghambat perkecambahan pada gulma adalah dengan menyebabkan kerusakan oksidatif sel yang dibuktikan dengan peningkatan produksi prolin dan tingkat antioksidan enzim. Minyak atsiri kemudian merusak sel membran yang menyebabkan kebocoran elektrolit, penghambatan produksi ATP mitokondria, proliferasi sel, sintesis DNA dan mitosis. Efek α -limonene menyebabkan terganggunya kulitula daun yang menyebabkan layu (Nicolova & Berkov, 2018).

Potensi minyak atsiri sebagai pengendali gulma yang diekstraksi dari *Syzygium aromaticum* bersama dengan CO₂ superkritis pada suhu 50 °C menunjukkan aktivitas alelopati dengan menghambat perkecambahan dan pemanjangan radikula *Mimosa pudica* dan *Senna obtusifolia*, dengan alelokimia yang teridentifikasi adalah monoterpen eugenol, eugenol aseat dan (E)-karyopil (Elgawad, *et al.*, 2020). Keuntungan menggunakan minyak atsiri sebagai pengendali gulma adalah aman bagi lingkungan, ramah bagi manusia karena biodegradasi lingkungan yang cepat dan toksisitas rendah terhadap organisme non-target (Nicolova & Berkov, 2018).

Potensi alelopati *S. cumini* dan keefektifannya untuk pengendalian gulma telah dipelajari baik di laboratorium maupun di lapangan. Pada tanaman gandum (*Triticum aestivum L*), serangan gulma dapat mengurangi rata-rata 38% hasil gabah. Untuk mengurangi kehilangan hasil gabah, gulma dapat diberantas dengan alelopati *S. cumini*. Alelopati mengacu pada efek menguntungkan atau merugikan dari suatu tanaman pada tanaman lain, baik spesies tanaman maupun gulma dengan pelepasan bahan kimia dari bagian tanaman yang berbeda melalui pencucian, eksudasi akar, penguapan, dekomposisi residu dan proses lainnya dalam sistem alami pertanian. Alelopati dari ekstrak air *Syzygium cumini* dievaluasi menggunakan panjang akar, panjang pucuk dan berat kering gandum, dengan konsentrasi 25%, 50%, 75% dan 100%. Pengaruh ekstrak air *Syzygium cumini* memiliki penghambatan pada

pertumbuhan longitudinal radikula pada akar dan pucuk, dengan konsentrasi 100% menunjukkan efek yang paling representatif hal ini dikarenakan panjang akar dan pucuk bibit gandum memiliki sensitivitas tinggi terhadap alelokimia dan pengaruh air *Syzygium cumini* memiliki penghambatan terhadap berat kering bibit gandum dengan konsentrasi 100%. Ekstrak air pekat lebih berpengaruh terhadap semua perlakuan konsentrasi, hal tersebut dikarenakan efek penghambatan alelokimia dalam penyerapan air dengan pembibitan dan terjadi pengurangan proses fisiologis dari varietas gandum. Temuan ini menunjukkan bahwa gandum yang ditanam di ladang yang memiliki serasah daun *Syzygium cumini* akan berpengaruh terhadap pertumbuhannya (Saeed, *et al.*, 2013).

Syzygium cumini memiliki potensi alelopati dengan menghasilkan alelokimia yang salah satunya berasal serasah daun/mulsa (Jose & Surendran, 2020). Mulsa berfungsi untuk menghilangkan kelembaban tanah, meningkatkan laju penetrasi air hujan atau irigasi dalam tanah dan mengontrol pertumbuhan gulma dengan demikian menghilangkan persaingan antara gulma dan tanaman (Singh, *et al.*, 2019). Ekstrak air daun kering *S. cumini* dapat digunakan untuk mengendalikan gulma di lahan subur. Perlakuan berupa pengaruh 2%, 4%, dan 8% (b/v) ekstrak air daun kering *S. cumini* terhadap perkecambahan dan pertumbuhan bibit dari salah satu gulma gandum yang paling serius, yaitu *Phalaris minor*. Retz. Ekstrak air *S. cumini* pada konsentrasi tertinggi 8% menunjukkan negatif yang signifikan dampak terhadap perkecambahan *P. minor*. Uji hayati ekstrak air juga dilakukan untuk mengevaluasi potensi alelopati *S. cumini*, untuk penggunaannya dalam mengendalikan *Parthenium hysterophorus*, salah satu gulma terburuk di dunia (Nair, 2017).

Ekstrak air daun *Syzygium cumini* dapat menghambat perkecambahan gulma *Amaranthus cruentus*. Perlakuan berupa pengaruh konsentrasi ekstrak air daun 10%, 20%, 30% dan 40% yang dilakukan selama 7 hari. Efek alelopati *Syzygium cumini* terhadap persentase perkecambahan biji *Amaranthus cruentus* 42% untuk konsentrasi 10%, 12% dengan konsentrasi 20%, 4% dengan konsentrasi 30% dan 0% dengan konsentrasi 40%. Persentase perkecambahan biji ditemukan menurun sesuai dengan konsentrasi ekstrak daun *Syzygium cumini* (Jose & Surendran, 2020).

PEMANFAATAN SYZYGIUM DALAM FITOREMEDIASI

Sumber energi utama kehidupan adalah sinar matahari. Tanpa adanya matahari maka tidak mungkin ada kehidupan. Proses penggabungan CO₂ dan air untuk menghasilkan karbohidrat membutuhkan sinar matahari, yang memiliki dampak signifikan pada morfologi tanaman. Secara umum, ada dua macam tumbuhan: tumbuhan yang semakin subur ketika terpapar sinar matahari secara utuh, disebut juga tumbuhan heliophytic, dan tumbuhan yang tumbuh subur di tempat minim cahaya, disebut juga tumbuhan schiophytic. Dua variabel yang juga dikenal sebagai faktor makro, yang dipengaruhi oleh sinar matahari, kelembaban, suhu, angin, awan, dan polusi udara, berdampak pada pertumbuhan tanaman. Konsentrasi O₂ dan CO₂ di udara disebut juga sebagai faktor mikro, selain faktor berupa media tanam (Kencana, *et al.*, 2023).

Tumbuhan memiliki berbagai mekanisme adaptif untuk berjuang dan bertahan hidup di lingkungan yang penuh tekanan, seperti salinitas tinggi, panas ekstrem, kekeringan, dan suhu beku (Nair, 2017). Salah satu mekanisme adaptif tumbuhan untuk hidup di lingkungan tercemar adalah Fitoremediasi. Fitoremediasi berasal dari dua kata dasar dalam bahasa Yunani, yakni *Phyto* yang artinya tumbuhan/tanaman dan *remediare* yang artinya membersihkan sesuatu, sehingga fitoremediasi

adalah suatu sistem yang memanfaatkan tumbuhan untuk mengubah atau mengurangi suatu kontaminan (polutan/pencemar) dalam lingkungan atau bahkan mengubah polutan tersebut menjadi sesuatu yang tidak berbahaya dan dapat digunakan kembali (Afifudin & Irawanto, 2022).

Fitoremediasi merupakan strategi remediasi yang dikendalikan oleh sinar matahari, murah, efisien dan dapat diterapkan in-situ serta ramah lingkungan. Tumbuhan umumnya menangani bahan pencemar tanpa mempengaruhi tanah lapisan atas, sehingga tetap mempertahankan kegunaan dan kesuburan tanah. Fitoremediator adalah tanaman yang digunakan untuk membersihkan tanah di daerah yang terkontaminasi. Mereka tidak hanya berfungsi sebagai toleran garam, tetapi juga dapat mengurangi beberapa efek negatif dari salinitas tanah dan sodisitas dengan bekerja sebagai ion, akumulator atau ekskretor, serta cenderung meningkatkan permeabilitas tanah. Dikombinasikan dengan strategi pengelolaan air yang akurat, mereka juga dapat menghilangkan logam berat, arsenik, timbal, aluminium (Al), dan banyak unsur beracun lainnya dari tanah. Sebuah studi mengungkapkan bahwa kepadatan populasi yang tinggi dari perkebunan monokultur dapat meningkatkan kandungan C dan N, hingga enam kali lipat di permukaan tanah (0,15 m) pada perkebunan berumur delapan tahun (Nair, 2017). Teknik/strategi fitoremediasi mencakup fitoereksi, fitofiltrasi (rhizofiltrasi), fitostabilisasi, fitovolatilisasi dan fitodegradasi (fitotransformasi) (Handiyanto, *et al.*, 2017).

Fitoekstraksi adalah penyerapan senyawa pencemar dari tanah atau air oleh akar tanaman serta akumulasi di bagian atas tanah yaitu tajuk tanaman. Fitoekstraksi mengacu pada penyerapan dan translokasi unsur logam pencemar di tanah oleh tumbuhan tertentu disebut hiperakumulator. Hiperakumulator dapat mengakumulasi lebih dari 10 mg/kg Hg, 100 mg/kg Cd, 1000 mg/kg Co, Cr, Cu, dan Pb, 10.000 mg/kg Zn dan Ni. Tanaman yang digunakan umumnya memiliki sistem akar yang padat dan toleran terhadap logam pencemar. Fitostabilisasi adalah penggunaan tumbuhan untuk stabilisasi bahan pencemar dalam tanah. Teknik ini digunakan untuk mengurangi mobilitas dan ketersediaan hayati bahan pencemar di lingkungan, sehingga mencegah pergerakan bahan pencemar masuk ke dalam air tanah atau ke dalam rantai makanan. Tanaman mengeluarkan enzim redoks khusus untuk mengkonversi logam berbahaya menjadi bentuk relative kurang beracun sehingga mengurangi kemungkinan kerusakan tanaman akibat cekaman logam. Tanaman yang digunakan idealnya tanaman asli pada lokasi tercemar logam berat karena telah mengalami evolusi bertahan hidup di lingkungan ekstrim (Handiyanto, *et al.*, 2017).

Fitovolatilisasi adalah penggunaan tumbuhan untuk menyerap unsur beracun kemudian mengkonversi dan melepaskannya dalam bentuk kurang beracun ke atmosfer, menyerap unsur logam dan mudah menguap (seperti Hg dan Se) dari dalam tanah dan menguapkannya dari daun. Fitodegradasi atau fitotransformasi adalah degradasi pencemar organik oleh tumbuhan dengan bantuan enzim seperti dehalogenase dan oksigenase dan tidak bergantung pada organisme rizosfer. Fitodegradasi hanya terbatas pada penyingkiran pencemar organik karena logam berat tidak bisa didegradasi secara biologi. Fitofiltrasi/Rhizofiltrasi adalah penggunaan akar tumbuhan atau bibit untuk menyerap atau menjerap bahan pencemar, terutama logam, air, tanah dan limbah. Tumbuhan yang digunakan tidak ditanam langsung tetapi diaklimatisasi terlebih dahulu menyesuaikan kondisi lingkungan tercemar. Setelah akar dapat menyesuaikan diri, kemudian ditanam di daerah tercemar dan akar menyerap air tercemar dan bahan pencemar secara bersamaan. Setelah akar jenuh, kemudian dipanen dan dibuang di tempat aman (Handiyanto, *et al.*, 2017).

Logam berat menyebabkan pencemaran lingkungan di Surabaya, Indonesia yang salah satunya dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Kendaraan bermotor menghasilkan emisi yang meliputi pencemar seperti timbal (Pb). Akumulatif Pb terutama berasal dari pembakaran adaptif bensin yang tidak sempurna, selain Pb terdapat senyawa lainnya seperti karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), sulfur oksida (SOx), dan nitrogen oksida (NOx). Di Indonesia, *Syzygium oleina* berpotensi menyerap Pb sehingga tanaman ini ditanam di jalan-jalan utama Surabaya yang sering dilalui oleh kendaraan. Penelitian untuk menganalisis kandungan logam Pb dan klorofil pada daun. Kadar logam berat pada daun tumbuhan diukur dengan menggunakan spektrofotometer serapan atom, dan kadar klorofil dengan menggunakan spektrofotometer. Data dianalisis dengan ANOVA dua arah. *Syzygium oleina* dapat menyerap kandungan Pb sekitar 0,146-0,288 µg/g masih dalam batas normal. *Syzygium oleina* digunakan sebagai penyerap timbal karena mampu menyerapnya dari udara melalui penyerapan pasif melalui stomata daun dan akan menetap di jaringan palisade atau jaringan spons, karena partikel Pb tidak larut dalam air, Pb dalam jaringan terperangkap dalam rongga antara sel dan stomata. Pb akan terakumulasi di dalam jaringan palisade. Karena kandungan Pb masih dalam batas normal maka kandungan klorofil pada daun lebih tinggi dibandingkan kandungan Pb dan tidak menunjukkan respon fisiologis akibat paparan Pb. Ciri-ciri tanaman penyerap Pb yang efektif memiliki daun yang lebat dan tidak mudah rontok, daun memiliki lapisan kutikula dan bersisik serta bentuk daun menyerupai jarum dengan tepi bergerigi, morfologi seperti ini dimiliki oleh *Syzygium oleina* dicirikan oleh dedaunan lebat (Daun tunggal) dan daun berbentuk lanset (Rachmadianty, *et al.*, 2019).

Keberhasilan pembentukan bibit pohon awal terkait dengan penangkapan dan penggunaan sumber daya utama seperti cahaya dan nutrisi. Pemilihan spesies pohon dengan potensi yang lebih besar untuk mengasimilasi karbon dan kapasitas untuk memanfaatkan unsur hara dan cahaya secara efisien akan memfasilitasi revegetasi di daerah yang terdegradasi, terutama di tempat dengan tingkat radiasi yang tinggi dan ketersediaan unsur hara tanah yang rendah. Penelitian yang menganalisis karakteristik fisik dan kimia tanah, kelangsungan hidup, pertumbuhan, fotosintesis, fluoresensi klorofil, kandungan makro dan mikro daun, dan efisiensi penggunaan nutrisi fotosintesis pada spesies pohon tropis muda yang ditanam di daerah terdegradasi. Tanah dominan di lokasi penelitian adalah podsolik merah-kuning (ultisol). Spesies yang diteliti adalah *Bellucia grossularioides*, *Bombacopsis macrocalyx*, *Cecropia ficifolia*, *C. sciadophylla*, *Chrysophyllum sanguinolentum*, *S. cumini*, *Inga edulis*, dan *Iryanthera macrophylla*. Fotosintesis bervariasi antara 34 dan 264 nmol/g/s untuk delapan spesies. Makronutrien daun konsentrasi bervariasi dari 16 sampai 29, 0,4 sampai 1,0, 6 sampai 13, 7 sampai 22, dan 1,6 sampai 3,4 g/kg masing-masing untuk N, P, K, Ca, dan Mg. Pepohonan pada tanah terdegradasi ini terutama dibatasi oleh P atau mikronutrien. Meskipun penghilangan horizon O, N tampaknya tidak membatasi aktivitas fotosintesis. Disimpulkan bahwa *S. cumini* memiliki mekanisme ekofisiologi terkait dengan asimilasi karbon dan penggunaan nutrisi yang menentukan keberhasilan dalam pembentukan awal dan memiliki potensi untuk memulihkan daerah yang terdegradasi. Dengan demikian, *S. cumini* dapat berhasil digunakan dalam penanaman hutan untuk memulihkan daerah yang terdegradasi karena spesies ini ditemukan (1) efisien dalam pemanfaatan kelebihan energi untuk fotosintesis, (2) efisien dalam penggunaan unsur hara tanah yang terbatas, dan (3) dengan tingkat kelangsungan hidup dan pertumbuhan yang tinggi (Nair, 2017).

Pencemaran air disebabkan oleh pembuangan limbah yang tidak hati-hati, Fitonanoteknologi muncul sebagai strategi dalam mengembangkan teknologi baru, ergonomis, terjangkau, ramah lingkungan dan dapat diproduksi dalam remediasi logam berat, senyawa organik, pewarna dan patogen lingkungan. Mekanismenya dengan biosintesis nanomaterial metalik dan nano partikel (NP) menggunakan sumber nabati. Untuk mensintesis NP menggunakan sintesis biogenic yang berasal dari *Syzygium cumini* setelah itu dilakukan reduksi dan penyerapan, NP kristal baik secara mandiri atau bersama dengan bahan kimia atau dengan reagen lain dapat menghilangkan kontaminan di lingkungan dengan tingkat efisiensi tertentu tergantung pada sumberdaya yang digunakan (Gole, *et al.*, 2022).

PEMANFAATAN SYZYGIUM DALAM FITOREMEDIASI TANAH DENGAN KADAR GARAM TINGGI

Salinisasi tanah merupakan proses peningkatan kadar garam mudah larut di dalam tanah sehingga terbentuk lahan salin. Salinitas adalah cekaman abiotik yang mengakibatkan berkurangnya hasil dan produktivitas tanaman pertanian. Setiap tahun luas lahan sawah yang ditinggalkan petani akibat mengalami salinisasi terus meningkat. Di Indonesia salinitas terjadi di lahan pertanian dekat pantai, disebabkan karena kenaikan permukaan laut akibat perubahan iklim. Diperkirakan lahan dekat pantai yang rentan mengalami salinitas seluas 12,020 juta ha atau 6,20% dari total daratan Indonesia (Karolinoerita & Yusuf, 2020). Salinitas tanah dapat diklasifikasikan menurut konduktivitas listriknya (*electrical conductivity/EC*) dari tanah jenuh dalam deciSiemen meter⁻¹ (dSm⁻¹) mencakup tanah non salin dengan (EC<2 dSm⁻¹), sedikit salin (EC=2-4 dSm⁻¹), cukup salin (EC=4-8 dSm⁻¹), dan sangat salin (EC>16 dSm⁻¹). Sepertiga tanah pertanian di dunia mengalami degradasi karena peningkatan salinitas. Salinisasi tanah dapat disebabkan oleh beberapa faktor lingkungan, termasuk pelapukan mineral primer yang terjadi secara alami, pengendapan garam laut yang terbawa angin, dan penggenangan daratan pesisir oleh air laut (Abiala, *et al.*, 2018).

Teknik penghijauan telah digunakan untuk mengendalikan degradasi lahan, seperti meningkatkan tutupan hutan konservasi, meningkatkan keanekaragaman hayati dan pengurangan polusi. Restorasi dan rehabilitasi lahan terlantar yang terdegradasi telah menarik perhatian dunia mengingat menyusutnya lahan subur, khususnya di negara-negara berkembang seperti Indonesia. Pemulihan produktivitas dan kesuburan tanah sodik yang terdegradasi melalui penanaman pohon dapat memperbaiki tanah dikarenakan terdapat keragaman spesies, produktivitas, dan proses dekomposisi (Nair, 2017).

Fitoremediasi tanah dicapai dengan kemampuan akar tanaman untuk meningkatkan laju disolusi kalsit, sehingga menghasilkan peningkatan kadar Ca²⁺ dalam larutan tanah dapat digunakan secara efektif menggantikan Na⁺ dari kompleks pertukaran kation. Tanaman yang toleran terhadap garam dapat secara efektif memfitoremediasi sistem garam-sodik dengan berinteraksi dengan garam di lingkungan tanah atau air dan mengurangnya melalui penyerapan, karakteristik fisik perakaran juga dapat meningkatkan permeabilitas tanah dan mengakibatkan pencucian garam di luar zona akar. Pembusukan akar membebaskan saluran untuk pergerakan air, sehingga meningkatkan konduktivitas hidrolik tanah (Nair, 2017).

Syzygium cumini dan *Vachellia nilotica* adalah spesies yang digunakan dalam praktik terhadap pengelolaan yang buruk sehingga mengakibatkan salinitas tanah. Penelitian ini menguji potensi reklamasi dan pertumbuhan spesies *Syzygium cumini* dan *Vachellia nilotica* terhadap salinitas. Hasil studi dirancang untuk menilai pertumbuhan spesies di bawah tingkat salinitas yang berbeda (10 dSm⁻¹,

20 dSm⁻¹, 30 dSm⁻¹, 40 dSm⁻¹ termasuk kontrol) pada tahap pembibitan. Parameter morfofisiologi (Panjang pucuk dan akar, bobot segar dan kering pucuk dan akar, diameter batang dan luas daun, laju transpirasi, laju fotosintesis dan konsentrasi CO² intrinsik, dll.) dan konsentrasi ionik (Na⁺ dan K⁺). Salinitas berpengaruh negatif terhadap pertumbuhan *V. nilotica* tetapi dengan pengaruh yang lebih menonjol pada *S. cumini*. Tingkat kelangsungan hidup *V. nilotica* yang baik diamati pada tingkat salinitas yang lebih tinggi (40 dSm⁻¹) tetapi *S. cumini* tidak bertahan pada tingkat yang sama. 84,1% penurunan pucuk dan 70% berat segar akar *V. nilotica* terlihat pada tingkat salinitas yang lebih tinggi. Perubahan drastis diamati pada bobot segar pucuk dan akar *S. cumini* pada 30 dSm⁻¹ yaitu 72,8% dan 70,2%, masing-masing. Peningkatan Na⁺ dan penurunan konsentrasi ion K⁺ tercatat pada organ yang berbeda dari kedua spesies. Konduktansi stomata dan laju fotosintesis kedua spesies menurun pada tingkat salinitas yang lebih tinggi. Disimpulkan bahwa *V. nilotica* lebih toleran terhadap cekaman garam tetapi *S. cumini* dapat dibudidayakan pada kondisi cekaman salin sedang (Yousaf, *et al.*, 2020).

Keragaman dan dominasi spesies tanaman serta perubahan yang terkait dengan karakteristik tanah di hutan buatan yang dibangun di atas tanah sodik yang sebelumnya tandus lebih dari tiga dekade. Hasil menunjukkan bahwa hutan mencetak nilai moderat untuk indeks keanekaragaman jenis pohon (H). Spesies pohon *Derris indica*, *Dalbergia sissoo*, *Azadirachta indica*, *Cassia siamea* (*Senna siamea*), *Terminalia arjuna*, *S. cumini*, dan *Tectona grandis* ditemukan sebagai spesies dominan utama yang dianggap cocok untuk ditanam pada lahan terdegradasi seperti itu. Ada penurunan nyata dalam pH tanah dan ESP dan peningkatan kandungan kation C dan Ca²⁺ + Mg²⁺ organik selama tiga dekade, menunjukkan bahwa sodisitas telah menurun di permukaan tanah. Pengalaman ini dapat dicoba di situs serupa di daerah kering dan semi kering untuk bioreklamasi dari tanah sodik. Penurunan pH tanah, sehubungan dengan suksesi sekunder di setiap lokasi yang direhabilitasi, merupakan fenomena umum akibat pencucian dan akumulasi asam organik lemah sebagai hasil pengembangan vegetasi (Nair, 2017).

Syzygium cuminii dapat bertahan hidup di tanah salin dan berpotensi digunakan untuk fitoremediasi, hal tersebut dikarenakan *Syzygium cuminii* dapat menghasilkan 2,01-132,59 t/ha total biomassa dalam sistem agroforesti dan perkebunan sehingga menghemat 0,906-13,471 t/ha total karbon. Dalam proses konservasi, hal tersebut dapat memperbaiki tanah yang terkena garam, karena menghasilkan biomassa dan menyimpan vegetasi karbon dalam tanah (Sarvade, *et al.*, 2016).

Beberapa spesies dapat hidup pada kondisi sub-tropis dan semi-kering serta tingkat salinitas ringan hingga sedang, seperti *Vachellia nilotica*, *Vachellia auriculiformis*, *Albizia lebbek*, *Terminalia arjuna*, *Prosopis juliflora*, *Casuarina equisetifolia*, *Prosopis cineraria*, *Tamarix indica*, *Dalbergia sissoo*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Embllica officinalis*, *Zizyphus jujube*, dan *Syzygium cumini* memiliki kemampuan untuk mentolerir kondisi salin dan memperbaiki sifat fisikokimia tanah. Beberapa spesies tersebut memiliki kemampuan untuk meminimalkan pengendapan garam dan akumulasi garam di lapisan atas tanah karena laju transpirasi yang lebih tinggi dan laju penguapan yang lebih rendah di bawah naungan tanaman. Sistem akar membantu dalam memperbaiki struktur fisik tanah dan memungkinkan translokasi ion natrium di tanah yang lebih dalam (Yousaf, *et al.*, 2022).

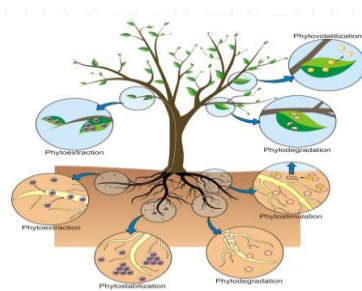
Percobaan dengan mendirikan perkebunan pohon yang toleran garam dengan memanfaatkan air tanah yang asin dilakukan pada lapangan dengan 31 spesies pohon dilakukan selama sembilan tahun (1991-2000) pada tanah berkapur di bagian semi kering (curah hujan tahunan sekitar 350 mm)

barat laut India. Anakan pohon ditanam di ambang alur dan diairi dengan air garam (EC 8,5–10,0 dS/m) selama tiga tahun awal (empat hingga enam kali per tahun), dan setelah itu perkebunan diairi satu kali selama musim dingin saja. Pengukuran dilakukan terhadap pertumbuhan pohon, penggunaan air, dan produksi biomassa. *Syzygium cumini*, *Crescentia alata*, *Samanea saman*, dan *Terminalia arjuna* menunjukkan pertumbuhan awal yang memuaskan dan kelangsungan hidup ketika mereka diberi irigasi garam tambahan, tetapi terbukti sensitif setelah penghentian irigasi, sehingga menekankan perlunya uji coba evaluasi jangka panjang. *Cassia javanica* dan *Cassia alata* diamati sangat sensitif terhadap embun beku, sedangkan *Casuarina equisetifolia* tidak dapat bertahan dari kekeringan karena kondisi gersang yang ada di lokasi. Penyimpanan garam dalam profil tanah meningkat secara substansial selama periode irigasi (5,6–10,4 dS/m), tetapi garam tambahan terdistribusi dalam profil tanah sebagai konsekuensi dari konsentrasi curah hujan musiman selama musim hujan dan beberapa peristiwa episodik curah hujan selama tahun-tahun berikutnya. Tanah diperkaya dengan karbon organik (>0,4% di atas 30 cm) di bawah spesies pohon yang menjanjikan. Komposisi ion total daun berkisar antara 2,8% dan 6,8%. Dengan demikian, rehabilitasi tanah gersang dengan spesies pohon yang direkomendasikan di atas menggunakan air asin yang tersedia tidak hanya akan membuat tanah yang ditinggalkan ini menjadi produktif, tetapi juga memastikan konservasi dan perbaikan lingkungan untuk keamanan ekologis jangka panjang di tanah ini (Nair, 2017).

PEMANFAATAN SYZYGIUM DALAM FITOREMEDIASI TANAH YANG TERKONTAMINASI

Faktor yang menyebabkan terjadinya polusi pada tanah adalah pertumbuhan penduduk yang sangat cepat. Pertumbuhan penduduk ini menyebabkan meningkatnya kegiatan industri yang menghasilkan berbagai jenis limbah yang tertimbun didalam tanah. Diantara limbah yang menjadi polutan tanah akibat aktivitas industri adalah logam berat (Hg,Cr, Cd, Ni dan Pb) (Aguilar, *et al.*, 2022). Agen pencemar pada tanah tidak hanya berupa logam berat tetapi juga berupa metaloid (As, Sb), komponen anorganik (NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-}), radioaktif (U, Cs, Sr), minyak bumi hidrokarbon (BTEX), Pestisida dan herbisida, bahan peledak (TNT & DNT), sediaan klorin (TCE, PCE) dan sampah organik hasil industri (PCPs, PAHs) (Favas, *et al.*, 2014). Sebaiknya limbah logam hasil industri ini diolah terlebih dahulu sebelum dibuang agar kadar cemarannya dapat berkurang. Namun proses pengolahan limbah industri tersebut diketahui membutuhkan biaya dan teknologi yang cukup mahal (Aguilar, *et al.*, 2022).

Tanaman hidup dan mikroorganisme dapat berperan untuk memulihkan tanah yang tercemar secara alami. Kemampuan ini selanjutnya disebut sebagai fitoremediasi. Metode remediasi dapat terjadi melalui berbagai cara diantaranya fitofiltrasi, fitostabilisasi, fitoekstraksi dan fitodegradasi (Gambar 1). Pemulihan tanah yang tercemar melalui metode fitoremediasi dinilai sebagai solusi berkelanjutan terhadap pencemaran lingkungan yang dapat dilakukan dengan biaya rendah, mudah dan ramah lingkungan (Hogland (2001).



Gambar 1. Metode fitoremediasi pada tanah yang tercemar (Faves, *et al.* 2014).

Tanaman dari jenis *Syzygium* diketahui dapat berperan dalam pemulihan tanah yang terkontaminasi. Tanaman *Syzygium* dari spesies *Syzygium jambos* merupakan salah satu jenis yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat sehingga menghasilkan lebih banyak limbah dibandingkan dengan jenis lainnya. Oleh karenanya, limbah *Syzygium jambos* sangat berpotensi untuk diekstrak dan diolah menjadi adsorben logam berat. Sebagai salah satu jenis tanaman yang banyak dibudidayakan oleh masyarakat, *Syzygium* berpotensi menjadi fitoremediator logam berat melalui mekanisme fitoekstraksi (Aguilar, *et al.*, 2022).

Tanah yang terkontaminasi logam berat akan diserap oleh akar tanaman kemudian ditranslokasikan sehingga terakumulasi di bagian batang. Saat proses panen, petani akan mengambil buah dari tanaman *Syzygium* yang masih mengandung polutan logam berat yang berasal dari tanah. Perubahan suhu, proses fisika, kimia dan mikrobiologi mungkin dapat mempengaruhi berat/volume biomassa hasil panen suatu tanaman (Faves, *et al.*, 2014).

Efisiensi fitoekstraksi dipengaruhi oleh dua faktor yaitu kemampuan mengakumulasi logam berat dan produksi biomassa, kemungkinan lain yang menyebabkan peningkatan/penurunan tingkat penyerapan logam berat pada tanah yang tercemar oleh akar tumbuhan *Syzygium* adalah kehadiran agen kimiawi pada tanah. Agen kimiawi ini berperan sebagai pengkelat logam berat dari tanah sehingga dapat diikat oleh jaringan pada akar tumbuhan *Syzygium* (Faves, *et al.*, 2014).

PEMANFAATAN SYZYGIUM DALAM FITOREMEDIASI PADA TANAH YANG TERGENANG AIR

Banyak kawasan di Indonesia memiliki curah hujan tinggi yang sering tergenang oleh air. Tanah yang tergenang air menyebabkan wilayah budidaya tanaman menurun sebanyak 16% di berbagai negara seperti Amerika Serikat, Russia, Pakistan, Bangladesh, China dan India. Hal ini diakibatkan oleh gagalnya perkecambahan serta terganggunya pertumbuhan vegetatif dan generatif suatu tanaman. Tanah yang tergenang air biasanya diakibatkan oleh beberapa faktor diantaranya curah hujan yang tinggi, irigasi yang tidak baik, tanah yang tidak rata, miskin drainase dan tekstur tanah yang berat (Shaheen, *et al.*, 2021).

Tanaman yang berada di lahan yang tergenang air akan mengalami stress akibat cekaman abiotik yang berdampak pada tingkat produktivitas dan daya hidupnya. Hal ini diakibatkan karena tanah yang tergenang oleh air akan mengalami penurunan kesuburan akibat rendahnya kadar oksigen dan meningkatnya kelembaban secara ekstrem. Penurunan kadar oksigen pada tanah yang tergenang umumnya menyebabkan tanaman mengalami hipoksia sehingga berakibat kematian. Beberapa jenis tanah tergenang air yaitu: tanah tergenang banjir sungai, tanah tergenang banjir air laut (roob), tanah

tergenang banjir musiman, tanah tergenang permanen dan tanah tergenang pada sub tanah. Tingkat bertahan hidup tanaman dipengaruhi oleh lama waktu tergenang, varietas tanaman, kondisi lingkungan dan tinggi genangan. Tanaman yang berada pada tanah tergenang menyebabkan hilangnya biomassa akar nekrosis daun, kerontokan daun, kerusakan kulit kayu serta rentan terhadap serangan serangga dan jamur patogen (Shaheen, *et al.*, (2021). Namun dalam beberapa artikel dijelaskan terdapat beberapa jenis tanaman yang toleran terhadap stres genangan air serta berpotensi mencegah erosi tanah dan menjaga keseimbangan ekologis salah satunya adalah tanaman *Syzygium cumini*.

Syzygium cumini merupakan spesies pohon multiguna dan ekonomis yang biasa ditanam diberbagai sistem pertanian guna mengatasi permasalahan tanah yang tergenang. Spesies *Syzygium cumini* diketahui memiliki toleransi terhadap genangan air lebih besar daripada *Dalbergia sissoo* namun lebih kecil jika dibandingkan dengan *Eucalyptus camaldulensis*, *Populus deltoides* dan *Salix tetrasperma*. Dalam artikel tersebut dijelaskan bahwa cekaman air menyebabkan terhambatnya aktivitas fotosintesis, penutupan stomata serta mempengaruhi indikator morfologi seperti panjang akar, pucuk, jumlah daun, diameter batang dan tinggi tanaman. Cekaman air membatasi aktivitas ribulosa bifosfat karboksilase dan oksidase glikoat sehingga mengurangi kandungan klorofil pada tanaman (Shaheen *et al.*, 2021). Sejalan dengan penelitian lain yang dilakukan oleh Sarvade, *et al.*, (2016), dijelaskan bahwa spesies *Syzygium cumini* banyak digunakan untuk reklamasi tanah yang terkena garam dan daerah yang tergenang air.

Kontribusi tanaman ini dalam reklamasi tanah dilakukan melalui produksi biomassa dan proses penyerapan karbon. *Syzygium cumini* diketahui memiliki kemampuan untuk menjaga kadar nitrogen, fosfor dan potasium pada jumlah yang banyak di tanah yang kurang subur. Kemampuan ini juga didukung dengan adanya simbiosis mikoriza pada akar tanaman yang berpotensi untuk meningkatkan kadar P pada tanah (Sarvade, *et al.* (2016).



Gambar 2. Daun dan buah *Syzygium Cumini* (Qomar, *et al.*, 2022).

FITOREMEDIASI PADA TANAH YANG TERCEMAR AKIBAT INDUSTRI

Dalam artikel yang dirilis oleh *Food and Agriculture Organization* (FAO), (2021) dijelaskan bahwa proses industri pertambangan dan manufaktur berdasarkan sejarah telah menjadi penyebab utama polusi pada tanah. Area industri biasanya memiliki jejak kontaminan organik yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah lain yang disebabkan oleh pembuangan limbah industri ke lingkungan. Bahan kimia yang paling banyak ditemukan di tanah adalah senyawa minyak bumi, bahan kimia spesifik dan polimer yang bersifat racun bagi manusia. Upaya perbaikan lahan tercemar akibat aktivitas Industri menjadi penting untuk menjaga kelestarian lingkungan dan kesehatan manusia salah satunya melalui fitoremediasi.

Penelitian yang dilakukan oleh Wasis & Winata, (2019) menunjukkan bahwa spesies *Syzygium polyanthum* berpotensi memperbaiki lahan yang rusak akibat aktivitas industri penambangan batuan

kapur. Perkembangan akar pada spesies *Syzygium polyanthum* pada daerah bekas industri membantu penyerapan air dan unsur hara di dalam tanah. Tanaman dari spesies *Syzygium jambos* memiliki potensi membentuk mikoriza spesifik yang dapat memodifikasi struktur dan kesuburan tanah yang rusak akibat aktivitas industri. Tanaman ini dapat membentuk mikoriza arbuskula yang mengubah karbohidrat menjadi bentuk glomalin yang dilepaskan ke rizosfer (Doh He, *et al.*, (2020).

Glomalin dapat mengikat partikel tanah yang dapat mendorong pembentukan dan stabilitas agregat tanah sehingga dapat mengubah status kelembaban tanah. Akar pada tanaman buah *Syzygium jambos* ini memiliki mikoriza yang bersimbiosis dengan Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA). FMA ini dapat membantu meningkatkan penyerapan nutrisi mineral tertentu sehingga kandungan bahan organik dalam tanah meningkat serta kualitas dan struktur tanah akibat aktivitas industri dapat membaik. Selain dapat memperbaiki struktur dan kelembaban tanah, FMA juga membantu tanaman bertahan dari cekaman air (Doh he, *et al.*, (2020).

Jamur mikoriza yang terdapat pada tumbuhan *Syzygium jambos* membantu tanaman dalam meningkatkan toleransinya terhadap polusi logam berat. Hal ini dilakukan dengan cara akar tanaman *Syzygium jambos* yang bersimbiosis dengan jamur mikoriza dapat menyerap dan memobilisasi logam berat sehingga toksisitas logam berat tersebut pada tanaman dapat berkurang. Mikoriza juga diketahui toleran terhadap tanah yang terkontaminasi logam berat akibat aktivitas industri seperti Cd dan Pb (Doh He, *et al.*, 2020). Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut dapat diketahui bahwa tanaman *Syzygium jambos* dapat melakukan fitoremediasi tanah yang tercemar akibat aktivitas industri melalui pembentukan mikoriza pada akar yang dapat membantu memperbaiki struktur dan kesuburan tanah.

PERAN ZAT PENGATUR TUMBUH (ZPT) PADA PERTUMBUHAN SYZYGIUM

Tumbuhan dari jenis *Syzygium* diketahui merupakan salah satu jenis tanaman pohon berkayu yang banyak dibudidayakan oleh masyarakat Indonesia karena manfaatnya. Beberapa artikel menyebutkan fungsi *Syzygium* selain sebagai fitoremediator juga sebagai bahan obat-obatan dan bahan makanan. Beberapa artikel menyebutkan bahwa pemanfaatan zat pengatur tumbuh tertentu dapat mempengaruhi pertumbuhan dari tanaman *Syzygium*.

Penambahan paclobutrazol diketahui dapat mengatur pertumbuhan tanaman pada spesies *Syzygium myrtifolium*. Penambahan ZPT ini pada tanaman tersebut dapat mengurangi luas daun dan tinggi tanaman sehingga dapat mengurangi aktivitas pemanjangan. Penambahan ZPT paklobutrazol dapat mengurangi laju fotosintesis dan transpirasi pada tanaman *Syzygium myrtifolium* karena hormon ini menghambat pemanjangan daun. Berkurangnya laju fotosintesis pada tanaman sejalan dengan penurunan laju transpirasinya. Hal ini menyebabkan tanaman *Syzygium myrtifolium* dapat bertahan pada cekaman abiotik akibat pembatasan air atau kekeringan (Roseli & Ramlan, 2012).

Penambahan ZPT juga mempengaruhi berbagai aspek pertumbuhan dan perkembangan buah pada *Syzygium cuminii*. Tanaman memiliki hormon endogen yang membantu proses fisiologisnya, penambahan ZPT dapat membantu perbanyakan tanaman, proliferasi tunas lateral, pembentukan kalus, pembungaan, pembuahan dan hasil panen tanaman *Syzygium cuminii*. ZPT berperan sebagai pembawa pesan yang dibutuhkan oleh tanaman pada jumlah/konsentrasi yang rendah. Penambahan ZPT dapat merubah karakter fisiologis dan biokimia tanaman dengan sangat cepat sehingga meningkatkan produktivitas tanaman buah (Singh, 2020).

Penambahan Giberelin sebanyak 50 mg/L dapat meningkatkan panjang dan diameter buah pada spesies *Syzygium samarangense*. Selain itu, penambahan ZPT juga dapat membantu meningkatkan umur simpan buah hasil panen. Perbaikan umur simpan buah *Syzygium cuminii* dapat dilakukan dengan penambahan asam giberelin dan auksin yang ditambahkan lilin parafin secara efektif dapat mengurangi kehilangan fisiologis dan memberikan keseimbangan yang baik antara asam askorbat dan gula buah selama penyimpanan. Cisse, *et al.*, (2022) menjelaskan bahwa penambahan Asam absisat dan auksin IAA dapat membantu tanaman *Syzygium jambos* bertahan pada daerah yang tergenang air.

PEMANFAATAN SYZYGIUM DALAM AGROFORESTRI

Agroforestri merupakan suatu kompleks sistem, dimana kayu abadi termasuk pohon, spesies semak, bambu dan palem sengaja tumbuh dengan spesies tanaman tahunan, rumput secara bersamaan dan berurutan dan dikelola pada bagian yang sama satuan pengelolaan lahan. Menjadi sistem yang kompleks, itu membantu dalam konservasi keanekaragaman hayati suatu daerah (Sarvade, 2014). Aspek agroforestri dan menanam tanaman gandum (*Triticum aestivum*) cv. WH 147, di bawah 12 MPT penting (*Acacia nilotica*, *A. cupressiformis*], *C. equisetifolia*, *Madhuca latifolia* [*Madhuca longifolia*], *Melia azedarach*, *L. leucocephala*, *D. sissoo*, *Albizia lebbeck*, *S. cumini*, *E. tereticornis*, *E. officinalis* [*P. emblica*], dan *q*) untuk mengetahui pengaruhnya radiasi aktif fotosintesis (PAR) yang ditransmisikan melalui kanopi pohon hasil gabah gandum. Studi dilakukan selama 1988-1989 di National Pusat Penelitian Agroforestri di Jhansi, Uttar Pradesh, India, di atas lempung berpasir tanah. Transmisi cahaya tertinggi sebesar 58,7% diamati pada *M. longifolia*, diikuti sebesar 58,1%, 55,3%, dan 51,7% masing-masing pada *S. cumini*, *H. binata*, dan *P. emblica*, dan transmisi cahaya paling sedikit sebesar 34,2% diamati pada *A. nilotica* dalam situasi agroforestri (Nair, 2017).

Rasio transmisi cahaya setelah pemangkasan jauh lebih tinggi daripada yang dari sebelum pemangkasan di bawah agroforestri dan sistem kontrol. Lampu rasio penularan secara umum lebih tinggi di bawah jarak pohon yang lebih lebar di semua MPT daripada di bawah jarak pohon yang lebih rendah dalam hubungannya dengan tanaman, serta terkendali. Tidak ada perbedaan yang signifikan dalam hasil gandum di bawah kanopi MPT yang berbeda pada tahun pertama, namun pada tahun kedua dan seterusnya, produksi gandum biji-bijian berkurang secara drastis di bawah kanopi pohon, dengan hasil biji tertinggi LI 26,84 q/ha di bawah *M. longifolia*. Status transmisi PAR juga berkorelasi dengan hasil gabah gandum. (Nair, 2017).

PEMANFAATAN SYZYGIUM DALAM PRODUKSI BIOPLASTIK

Masalah lingkungan utama yang dihasilkan dari komponen yang tidak dapat terurai limbah plastik telah membangkitkan perhatian besar terhadap bioplastik sebagai bahan alternatif. Diantara berbagai bahan bioplastik, asam polilaktat (PLA) diakui sebagai bahan yang menjanjikan khususnya sebagai bahan pengemas makanan. Pengembangan komposit PLA menggunakan berbagai pengisi secara ekstensif menjadi fokus untuk menjaga kualitas tinggi, keamanan, dan memperpanjang umur simpan makanan kemasan. Di antara pengisi yang menarik adalah *Syzygium aromaticum* yang dikenal sebagai

cengkeh, memiliki aktivitas biologis seperti antibakteri, sifat antijamur, insektisida, dan antioksidan (Budin, *et al.*, 2022).

PLA telah diakui oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan Amerika Serikat (FDA) sebagai bahan yang aman untuk kemasan pangan (Risyon, *et al.*, 2020). Namun, kerapuhan, distorsi panas rendah suhu, dan sifat antioksidan, antibakteri, dan penghalang yang buruk yang menjadi kendala dalam pengaplikasiannya (Ahmed, *et al.*, 2019). Agar memiliki kualitas tinggi, pengemasan yang aman dan memperpanjang umur simpan makanan kemasan, bahan pengemas harus mampu mengurangi atau menghambat pertumbuhan mikroorganisme dan menghambat proses oksidasi lipid (Chen C, *et al.*, 2018).

Penambahan anti bakteri dan agen antioksidan dalam substrat PLA adalah salah satu solusi rasional. Selain itu, penambahan filler pada substrat PLA juga akan mempercepat degradasi dan dekomposisi dari PLA. Tingkat degradasi yang lebih tinggi akan membantu mempercepat degradasi limbah PLA, terutama untuk produk sekali pakai. Berbagai upaya telah dilakukan untuk modifikasi PLA dengan memasukkan berbagai pengisi untuk meningkatkan sifat-sifat tersebut. Banyak studi pada filler bereaksi sebagai antioksidan, antimikroba, antibakteri, dan akselerator degradasi agen telah dilakukan dengan bahan pengisi seperti kitosan, cinnamaldehyde, *Syzygium aromaticum* (cengkeh), *Melissa officinalis* L. (*lemon balm*), *Salvia officinalis* (*sage*), seng oksida (ZnO), titanium oksida (TiO), magnesium oksida (MgO) dan kalsium karbonat.

Cengkeh merupakan tanaman asli Indonesia yang banyak digunakan sebagai bumbu masakan dan bahan utama rokok kretek. Tanaman cengkeh termasuk jenis tumbuhan perdu yang memiliki batang pohon besar dan berkayu keras serta mampu bertahan hidup puluhan tahun. Tinggi tanaman dapat mencapai 20-30 meter, cabang-cabang cukup lebat, mahkota atau tajuk pohon cengkeh berbentuk kerucut, daun berwarna hijau berbentuk bulat telur memanjang dengan bagian ujung dan pangkalnya menyudut dengan ukuran lebar berkisar 2-3 cm serta panjang daun tanpa tangkai berkisar 7.5 – 12.5 cm.

Studi terbaru mengungkapkan bahwa ekstrak biji *S. cumini* juga dapat digunakan sebagai karbon sumber polihidroksialkanoat (PHA), poliester hidroksialkanoat yang disintesis oleh berbagai bakteri sebagai karbon intraseluler dan senyawa penyimpan energi dan terakumulasi sebagai butiran dalam sitoplasma sel. Bakteri penghasil PHA dari tanah diisolasi, dikarakterisasi, dan disaring dengan metode pewarnaan *Nile blue Organisme* yang disaring menjadi sasaran fermentasi dengan glukosa sebagai sumber karbon dan bahan baku murah seperti biji jambul (*S. cumini*). Strain SPY-1 menunjukkan jumlah akumulasi PHA yang lebih tinggi daripada strain lain dan sebanding dengan bahwa dari strain referensi *Ralstonia eutropha* (Preethi, *et al.*, 2012).

S. cumini sebagai sumber karbon untuk produksi PHA dari isolat mikroba tanah. Efisiensi isolat terpilih untuk produksi PHA menggunakan substrat terhidrolisis sebagai sumber karbon dibandingkan dengan *R. eutropha* (strain referensi) menggunakan media produksi yang sama. Biji jambul terkumpul PHA 42,2% sebagai satu-satunya sumber karbon dibandingkan dengan isolat terbaik SPY-1 dan *R. eutropha*, yang mampu mengakumulasi masing-masing 26,76% dan 28,97% dari berat sel keringnya (Jeyaseelan, *et al.*, 2013).

APLIKASI TERAPEUTIK *Syzygium cumini*

Preeklamsia digambarkan sebagai sindrom spesifik pada kehamilan yang dapat mempengaruhi hampir semua sistem organ. Preeklamsia adalah penyakit dengan tanda-tanda tekanan darah tinggi (hipertensi), pembengkakan jaringan (edema) dan protein dalam urine (protein urine). Preeklamsia pada umumnya terjadi pada triwulan ke 3 namun ada yang terjadi pada triwulan ke 2. Preeklamsia sering tidak diketahui oleh ibu hamil yang bersangkutan sehingga tanpa disadari preeklamsia ringan bisa berubah menjadi preeklamsia berat dan berlanjut menjadi eklamsia (Wulandari, *et al.*, 2014).

Disfungsi endotel merupakan kegagalan endotel dalam melakukan adaptasi adekuat terhadap stimulasi yang disebabkan paparan sitokin inflamasi dan peningkatan ekspresi VCAM-1 sehingga terjadi stress oksidatif (Wulandari, *et al.*, 2014). Disfungsi endotel merupakan kegagalan endotel dalam melakukan adaptasi adekuat terhadap stimulasi yang disebabkan paparan sitokin inflamasi dan peningkatan ekspresi VCAM-1 sehingga terjadi stress oksidatif. Stress oksidatif pada preeklamsia bisa dikendalikan dengan pemberian antioksidan. Antioksidan banyak terdapat di buah-buahan. Buah Jamblang (*Syzygium cumini*) mengandung antosianin, fenol dan polifenol, senyawa yang berfungsi sebagai antioksidan dan antiinflamasi. Ekstrak etanol jamblang memiliki konsentrasi antosianin lebih tinggi dibandingkan dengan ekstrak isopropanol (Wulandari, *et al.*, 2014). Penggunaan etanol karena senyawa pada Jamblang larut dalam air. Selain itu, etanol memiliki sifat melarutkan hampir semua zat baik yang bersifat polar, nonpolar maupun semipolar.

SIMPULAN

Syzygium merupakan genus yang berasal dari famili Myrtaceae terdiri sekitar 1200–1800 spesies. Tanaman yang termasuk anggota *Syzygium* memiliki berbagai peranan diantaranya: sebagai bahan pangan, berperan dalam bidang pertanian, sebagai agen bioremediasi lingkungan yang tercemar dan sebagai bahan obat-obatan. Peranan *Syzygium* dalam bidang pertanian diantaranya adalah sebagai pestisida alami dan sebagai agen pengendali gulma. Peranan *Syzygium* dalam bidang lingkungan adalah sebagai salah satu agen bioremediasi terhadap lingkungan yang tercemar logam berat, tanah yang tercemar limbah industri dan tanah tergenang air dengan salinitas tinggi. *Syzygium cumini* berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan obat-obatan karena memiliki efek teuraupetik yang mengandung antosianin, fenol dan polifenol, senyawa yang berfungsi sebagai antioksidan dan antiinflamasi yang berfungsi untuk mengendalikan stress oksidatif pada preeklamsia. Dengan adanya artikel ini diharapkan masyarakat dapat mengetahui berbagai peranan tanaman dari anggota *Syzygium* sehingga dapat memanfaatkan dengan maksimal.

RUJUKAN

- Abiala, M. A., Abdelrahman, M., Burritt, D. J., & Tran, L. S. P. (2018). Salt stress tolerance mechanisms and potential applications of legumes for sustainable reclamation of salt-degraded soils. *Land Degradation & Development*, 29(10), 3812-3822.
- Afifudin, A. F. M., & Irawanto, R. (2022). *Fitoremediasi*. Padang. Global Eksekutif Teknologi.
- Aguilar, Dora Luz. Juan Pablo Miranda & Octabio Jose. 2022. Fruit Peels as a Sustainable Waste for the Biosorption of Heavy Metals in Wastewater: A Review. *Molecules* (27)

- Ahmad Nazarudin Mohd Roseli, Tsan Fui Ying & Mohd Fauzi Ramlan. 2012. Morphological And Physiological Response Of *Syzygium Myrtifolium* (Roxb.) Walp. To Paclobutrazol. *Sains Malaysiana*: 4(10)
- Ahmed J, Mulla M, Jacob H, Luciano G, Bini TB, Almusallam A. (2019). Polylactide/poly(ϵ -caprolactone)/zinc oxide/clove essential oil composite antimicrobial films for scrambled egg packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 21:100355. <https://doi.org/10.1016/j.foodpack.2019.100355>
- Anas Raklami, Abdelilah Meddich, Khalid Oufdou, and Marouane Baslam. (2022). Plants—Microorganisms-Based Bioremediation for Heavy Metal Cleanup: Recent Developments, Phytoremediation Techniques, Regulation Mechanisms, and Molecular Responses. *Molecular science*: 25
- Arif, A. (2015). Pengaruh bahan kimia terhadap penggunaan pestisida lingkungan. *Jurnal Farmasi UIN Alauddin Makassar*, 3(4), 134-143.
- Arshad, J., and S. Samad. (2012). Screening of allelopathic trees for their antifungal potential against *Alternaria alternata* strains isolated from dying-back *Eucalyptus* spp. *Nat. Prod. Res.* 26: 1697–1702.
- Ayyanar, M. and Subash-Babu, P. (2012). *Syzygium cuminii* (L.) Skeels: A review of its phytochemical constituents and traditional uses. *Asian Pac. J. Trop. Biomed.*, 2(3): 240-246
- Batiha, G.-E.-S., Alkazmi, L. M., Wasef, L. G., Beshbishy, A. M., Nadwa, E. H., & Rashwan, E. K. (2020). *Syzygium aromaticum* L. (Myrtaceae): Traditional uses, bioactive chemical constituents, pharmacological and toxicological activities. *Biomolecules*, 10(2), 1–16.
- Budin, S, Normariah Che Maideen, Koay Mei Hyie, Hamid Yussof and Halim Ghafar. (2022). Comparative Study on Degradation Of Polylactic Acid/ *Syzygium* Aromatic Composites Ageing In Outdoor Environment And Soil Burial: *IJUM Engineering Journal*, Vol. 23, No.1, 2022. <https://doi.org/10.31436/ijumej.v23i1.2138>
- Chang & W Hogland. (2021). Phytoremediation development in Sweden. *Ecobalticafeb*:109
- Chen C, Xu Z, Ma Y, Liu J, Zhang Q, Tang Z, Fu K, Yang F, Xie J. (2018) Properties, vapour phase antimicrobial and antioxidant activities of active poly(vinyl alcohol) packaging films incorporated with clove oil. *Food Control*, 88:105-112. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.12.039>
- Cock, I., & Cheesman, M. (2018). Plants of the genus *Syzygium* (Myrtaceae): A review on ethnobotany, medicinal properties and phytochemistry. In *Bioactive Compounds of Medicinal Plants: Properties and Potential for Human Health* (pp. 35–84)
- Cock, I. E., & Cheesman, M. (2019). The potential of plants of the genus *Syzygium* (Myrtaceae) for the prevention and treatment of arthritic and autoimmune diseases. *Bioactive Food as Dietary Interventions for Arthritis and Related Inflammatory Diseases*, 401-424.
- Darmanti, S. (2018). Interaksi Alelopati dan Senyawa Alelokimia: Potensinya Sebagai Bioherbisida. *Buletin Anatomi dan Fisiologi (Bulletin Anatomy and Physiology)*, 3(2), 181-187.
- Dharani, N. (2016). A review of traditional uses and phytochemical constituents of indigenous *Syzygium* species in east Africa. *Pharmaceutical Journal of Kenya*, 22(4), 123–127.
- Elansary, H. O., M. Z. M. Salem, N. A. Ashmawy, and M. M. Yacout. (2012). Chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of leaves essential oils from *Syzygium cumini* L., *Cupressus sempervirens* L. and *Lantana camara* L. from Egypt. *J. Agric. Sci.* 4: 144–152.
- ElGawad, A. M., El Gendy, A. E. N. G., Assaeed, A. M., Al-Rowaily, S. L., Alharthi, A. S., Mohamed, T. A., ... & Elshamy, A. I. (2020). Phytotoxic effects of plant essential oils: A systematic review and structure-activity relationship based on chemometric analyses. *Plants*, 10(1), 36.

- El-Hadji Malick Cisse, Juan Zhang, Da-Dong Li1, Ling-Feng Miao, Li-Yan Yin and Fan Yang. (2022). Exogenous ABA and IAA modulate physiological and hormonal adaptation strategies in *Cleistocalyx operculatus* and *Syzygium jambos* under long-term waterlogging conditions. *BMC Plant Biolog*: 25
- Gole, A., John, D., Krishnamoorthy, K., Wagh, N. S., Lakkakula, J., Khan, M. S., ... & Islam, M. (2022). Role of Phytonanotechnology in the Removal of Water Contamination. *Journal of Nanomaterials*, 2022.
- Gupta, M., and R. Bhadauria. (2012). Evaluation of anti-fungal potential of aqueous extract of *Syzygium cumini* Linn. against *Alternaria alternata* Nees. and *Fusarium oxysporum* Schle. *Int. J. Pharma Bio Sci.* 3 (B): 571–577.
- Handayanto, E., Nuraini, Y., Muddarisna, N., Syam, N., & Fiqri, A. (2017). *Fitoremediasi dan phytomining logam berat pencemar tanah*. Universitas Brawijaya Press.
- Irawan, P. D., Tallei, T. E., & Kolondam, B. J. (2016). Analisis sekuens dan filogenetik beberapa tumbuhan *Syzygium* (Myrtaceae) di Sulawesi Utara berdasarkan gen matK. *Jurnal Ilmiah Sains*, 16(2), 43-50.
- Jadda, A. A. (2019). Tinjauan Hukum Lingkungan Terhadap Perlindungan dan Pengelolaan Keanekaragaman Hayati. *Madani Legal Review*, 3(1), 39-62.
- Jeyaseelan, A., S. Pandiyan, and P. Ravi. 2013. Production of polyhydroxyalkanoate (PHA) using hydrolyzed grass and *Syzygium cumini* seed as low cost substrates. *J. Microbiol. Biotechnol. Food Sci.* 2: 970–982
- Jose, A. M., & Surendran, D. (2020). Comparative Allelopathic Effect Of *Syzygium aromaticum* And *Myristica fragrans* On Seed Germination Of *Amaranthus cruentus*. *Journal of Advanced Scientific Research*, 11(04), 347-349.
- Kencana, T. A. A. K. A., Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2023). Analisis Manfaat Pengaruh Sinar Matahari Terhadap Proses Perkecambahan Kacang Hijau. *Jurnal Biologi dan Pembelajarannya (JB&P)*, 10(1), 1-6.
- Karolinoerita, V., & Yusuf, W. A. (2020). Salinisasi lahan dan permasalahannya di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 14(2), 91-99.
- Lei, W., J. Liu, D. Wang, J. Li Jiao and H. Fan. 2012. Inhibition effect of four plants compound fungicides against *Fusarium oxysporum*. *Vegetables* 16: 80–85.
- Milićević, Z., Krnjajić, S., Stević, M., Ćirković, J., Jelušić, A., Pucarević, M., & Popović, T. (2022). Encapsulated clove bud essential oil: A new perspective as an eco-friendly biopesticide. *Agriculture*, 12(3), 338.
- Muhammad Qamar, Saeed Akhtar, Tariq Ismail, Muqet Wahid, Malik Waseem Abbas, Mohammad S. Mubarak, Ye Yuan, Ross T. Barnard, Zyta M. Ziora and Tuba Esatbeyoglu. (2022). Phytochemical Profile, Biological Properties, and Food Applications of the Medicinal Plant *Syzygium cumini*. *Food*: 11
- Nair, K. N. (Ed.). (2017). *The genus Syzygium: Syzygium cumini and other underutilized species*. CRC Press.
- Nikolova, M. T., & Berkov, S. H. (2018). Use of essential oils as natural herbicides. *Ecologia Balkanica*, 10(2).
- Nokande, Saber, Mohammad Ali Khodabandeh2, Ali Besharatinezhad, Gábor Nagy, Ákos Török. (2022). Effect of Oil Contamination on the Behavior of Collapsible Soil. *Periodica polutechnica civil engineering*: 66 (3)

- Osman, T. M., Algam, S. A., Ali, M. E., Osman, E. H., & Mahdi, A. A. (2016). In vitro screening of some biocontrol agents against *Xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum* isolated from infected cotton plants. *Int J Agric, For Plantat*, 2, 270-278.
- Palmolina, M. Partisipasi Masyarakat Dalam Pembangunan Demplot Agroforestri Berbasis Jamblang (*Syzygium cumini*). *Jurnal Agroforestri Indonesia* Vol. 2 No. 2: 113-125.
- Paulo J.C. Favas, João Pratas, Mayank Varun, Rohan D'Souza and Manoj S. Paul. 2014. Phytoremediation of Soils Contaminate
- Preethi, R., P. Sasikala, and J. Aravind. 2012. Microbial production of polyhydroxyalkanoate (PHA) utilizing fruit waste as a substrate. *Res. Biotechnol.* 3: 61–69
- Rachmadiarti, F., Purnomo, T., Azizah, D. N., & Fascavitri, A. (2019). *Syzygium oleina* and *Wedelia trilobata* for Phytoremediation of Lead Pollution in the Atmosphere. *Nature Environment & Pollution Technology*, 18(1).
- Ramiz Raja, Supriya Pal, Arindam Karmakar. 2022. In-Situ Remediation Of Heavy Metal Contaminated Sites Through Mechanical Stabilization Using Industrial Waste Products. *Vilnius Tech*: 30 (2)
- Reis, A. S., de Sousa Silva, L., Martins, C. F., & de Paula, J. R. (2021). Analysis of the volatile oils from three species of the gender *Syzygium*. *Research, Society and Development*, 10(7), e13510716375–e13510716375. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16375>
- Retnowati, A., Rugayah, J. S. R., & Arifiani, D. (2019). Status keanekaragaman hayati Indonesia: Kekayaan jenis tumbuhan dan jamur Indonesia. Jakarta. LIPI Press.
- Rubina AltafID, Sikandar Altaf, Mumtaz Hussain, Rahmat Ullah Shah, Rehmat Ullah, Muhammad Ihsan Ullah, Abdul Rauf, Mohammad Javed AnsariID, Sulaiman Ali Alharbi, Saleh Alfarraj, Rahul Datta. 2021. Heavy metal accumulation by roadside vegetation and implications for pollution control. *Plos One*: 16 (5).
- Saeed, H. S., RasulF, S. M., Mubeen, M., & Nasim, W. (2013). Allelopathic Potential Assessment of *Jaman* (*Syzygium cumini* L.) on Wheat. *Int. Poster J. Sci. Tech*, 3(1), 09-14.
- Sanito, R. C. (2018). Potensi Tumbuhan *Xanthostemon novaeguineensis* Valeton (Myrtaceae) dalam Fitoteknologi. *Biologi Papua*, 10(1), 38-47.
- Sarvade, Gautam, Bhalawe & Bisen. 2016. An overview of potential multipurpose agroforestry tree species, *Syzygium cuminii* (L.) Skeels in India. *Journal of Applied and Natural Science* 8 (3)
- Silalahi, M. (2017). *Syzygium polyanthum* (Wight) Walp. *Jurnal Dinamika Pendidikan*, 10(1), 1-16.
- Singh Sanjay, Mishra, A.K. Singh. S. Pradhan, Tarai & Panigrahi. 2020. Plant Growth Regulators in *Jamun* (*Syzygium cumini*).
- Singh B & K. Garg. 2007. Phytoremediation of A Sodic Forest Ecosystem: Plant Community with Metals and Metalloids at Mining Areas: Potential of Native Flora. *Intech:17 Response To Restoration Process. Agrobot*: 35(1).
- Singh, S., Singh, A. K., Saroj, P. L., & Mishra, S. (2019). Research status for technological development of *jamun* (*Syzygium cumini*) in India: A review. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 89(12), 1991-1998.
- Suleiman, W., Ibrahim, M., & El Baz, H. (2019). In vitro evaluation of *Syzygium aromaticum* L. ethanol extract as biocontrol agent against postharvest tomato and potato diseases. *Egyptian Journal of Botany*, 59(1), 81-94.
- Talahatu, D. R., & Papilaya, P. M. (2015). Pemanfaatan ekstrak daun cengkeh (*Syzygium aromaticum* L.) sebagai herbisida alami terhadap pertumbuhan gulma rumput teki (*Cyperus rotundus* L.). *Biopendix: Jurnal Biologi, Pendidikan Dan Terapan*, 1(2), 160-170.

- Uddin, A. N., Hossain, F., Reza, A. A., Nasrin, M. S., & Alam, A. K. (2022). Traditional uses, pharmacological activities, and phytochemical constituents of the genus *Syzygium*: A review. *Food Science & Nutrition*.
- Uma, T., S. Mannam, J. Lahoti, K. Devi, R. D. Kale, and D. J. Bagyaraj. 2012. Biocidal activity of seed extracts of fruits against soil borne bacterial and fungal plant pathogens. *J. Biopest* 5:103–105.
- Wangkhem, M., Sharma, M., & Sharma, C. L. (2020). Comparative wood anatomical properties of genus *syzygium* (family Myrtaceae) from Manipur, India. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 7(1), 27-42.
- Wasis1 B, M Y G Putri1, B, B Winata1. 2019. Study of *Syzygium polyanthum* (Wight) Walp. Growth on the Ex-limestone Mining Soil with Goat Manure and NPK Fertilizer Increment. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Wulandari, S., Baktiyani, S. C. W. & Winarsih, S., 2014. Pengaruh Pemberian Ekstrak Etanol Juwet (*Syzygium cumini*) terhadap Ekspresi ICAM-1 dan VCAM-1 pada Model HUVECs yang dipapar Plasma Preeklampsia, s.l.: s.n.
- Yousaf, M. S., Ahmad, I., Anwar-ul-Haq, M., Siddiqui, M. T., Khaliq, T., & Berlyn, G. P. (2020). Morphophysiological response and reclamation potential of two agroforestry tree species (*Syzygium cumini* and *Vachellia nilotica*) against salinity. *Pak. J. Agri. Sci*, 57(5), 1393-1401.
- Yousaf, M., Farrakh Nawaz, M., Yasin, G., Ahmad, I., Gul, S., Ijaz, M., ... & Ur Rahman, S. (2022). Effect of Organic Amendments in Soil on Physiological and Biochemical Attributes of *Vachellia nilotica* and *Dalbergia sissoo* under Saline Stress. *Plants*, 11(2), 228.
- Zikria Zafar, Fahad Rasheed, Waseem Razzaq Kha, Muhammad Mohsin, Muhammad Zahid Rashid, Mohamad Maulana Magiman, Zohaib Raza, Zamri Rosli, Shazia Afzal and Fauziah Abu Bakar. 2022. The Change in Growth, Osmolyte Production and Antioxidant Enzymes Activity Explains the Cadmium Tolerance in Four Tree Species at the Saplings Stag. *Forest*: 13