

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

PENGEMBANGAN PRODUKSI SORGUM DI LAHAN RAWA: KAJIAN PEMANFAATAN ALELOPATI SEBAGAI BIOHERBISIDA

(Extensification of Sorghum in Swamp Land: Reviews on Utilization Allelopathy as Bioherbicide)

Edi Susilo^{*1}, Fahrurrozi², Sumardi²

¹Mahasiswa Program Doktor Ilmu Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu.
Jl. WR. Supratman Kandang Limun Bengkulu 38371

¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Ratu Samban, Bengkulu Utara.
Jl. Jenderal Sudirman No. 87 Arga Makmur Kabupaten Bengkulu Utara 38611

²Program Studi Agroekoteknologi, Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu. Jl. WR. Supratman Kandang Limun Bengkulu 38371

*Corresponding Author: susilo_agr@yahoo.com

ABSTRACT

Efforts to fulfill food demands for Indonesian to comply with population increases endorse to extend production areas to marginal lands. Sorghum which has an ability to adapt with less favourable growing environments almost has nutritional values as good as corn, but this crop is less cultivated by farmers. Adaptation mechanisms of sorghum to environmental stresses are by producing natural allelopathies. Those allelochemicals could be properly managed as natural herbicides for sorghum production in swamp lands. This review aimed to describe the potential uses of allelochemicals produced by sorghum for sustainable sorghum production in swamp lands. Reviews concluded that (1) sorghum is most likely suitable for swamp lands due to its wide range abilities to cope biotic and abiotic stressors, (2) sorghum is able to increase the production of sorgoleone, dhurrin and phenolic allelochemicals, and (3) those allelochemical extracts could be developed as bioherbicide compounds for sustainable production of various crops.

Keywords: allelopathy, bioherbicide, marginal land, sorghum, swampland

PENDAHULUAN

Di Indonesia memerlukan upaya pengembangan ke lahan marginal sebagai akibat penurunan luas lahan pertanian dalam rangka pemenuhan pangan untuk mengimbangi pertumbuhan penduduk. Lahan pertanian beralih fungsi ke nonpertanian terus berlanjut, sehingga pengembangan pertanian dapat memanfaatkan lahan marginal yang terdiri lahan kering, lahan luapan, dan rawa (Effendi *et al.*, 2014). Produksi pangan secara nasional masih bertumpu pada lahan sawah irigasi terutama

di Pulau Jawa, sedangkan lahan pasang surut, rawa lebak, maupun lahan marginal lainnya belum dimanfaatkan secara optimal (Suryana, 2016). Lahan rawa skala nasional berperan semakin penting dan strategis untuk pengembangan pertanian terutama dalam rangka mendukung ketahanan pangan nasional. Hal ini didukung adanya potensi dan produktivitas lahan serta teknologi yang sudah cukup mumpuni. Luasan lahan rawa pasang surut yang berpotensi dimanfaatkan sebagai lahan pertanian tanaman pangan cukup luas tersedia (Khodijah, 2015). Lahan

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

rawa di Indonesia sekitar 35,0 juta ha atau 18,3 % luas daratan, yang tersebar di Sumatera 12,9 juta ha, Jawa 0,9 juta ha, Kalimantan 10,0 juta ha, Sulawesi 1,1 juta ha, Maluku 0,2 juta ha, dan Papua 9,9 juta ha (BBSDLP 2014 ; Suryana, 2016). Luas lahan pasang surut 20 juta ha dan 13,4 juta ha merupakan lahan rawa lebak (Sudana, 2005; Suprianto *et al.*, 2010). Lahan rawa pasang surut berkategori yaitu lahan potensial (2,1 juta ha), sulfat masam (6,7 juta ha), gambut (10,9 juta ha), dan lahan bergaram (0,4 juta ha) (Haryono *et al.*, 2013 ; Ridho Djafar, 2015). Potensi lahan rawa baru digunakan sekitar 4,5 juta ha (22 %) untuk pertanian. Wilayah sebaran lahan rawa lebak di Sumatera 2,8 juta ha, Kalimantan 3,6 juta ha, Sulawesi 0,6 juta ha, dan Papua 6,3 juta ha. Lahan rawa lebak mempunyai 3 tipe yang terdiri lebak dangkal 4,17 juta ha, lebak tengahan 6,03 juta ha, dan lebak dalam 3,04 juta ha (Daulay, 2003 ; Haryono *et al.*, 2013 ; Ridho Djafar, 2015).

Kegiatan budidaya di lahan rawa mempunyai beberapa hambatan yaitu fisiko-kimianya berupa genangan air atau banjir yang datangnya tidak terjadwal, datang tiba-tiba, sedangkan pada musim kemarau terjadi permasalahan defisit air sehingga potensi lahan dapat digunakan budidaya hanya sekali per setahun, kondisi tanah masam dengan kesuburan tanah rendah, dan masalah organisme pengganggu tanaman (gulma, hama dan penyakit), topografi air mikro lahan masih beragam dan belum tertata baik, dan sebagian lahan bergambut sehingga produktivitas rendah (Sudaryanto, 2009 ; Yasin, 2013). Pada lahan pasang surut permasalahan hampir sama di lahan rawa. Menurut Khodijah, (2015) permasalahan dan kendala budidaya di lahan rawa pasang surut antara lain : 1) kesuburan tanah rendah ; 2)

belum berfungsinya infrastruktur secara optimal; 3) umumnya tingkat pendidikan petani kurang; 4) indeks panen per tahun kecil, dan 5) tingkat serangan organisme pengganggu tanaman (OPT) cukup tinggi. Selanjutnya menurut Suryana (2016) permasalahan lahan rawa yaitu miskin hara, kondisi anaerob, banyak bergambut dalam, terdapat pirit yang berpotensi meracuni tanaman (sulfida, besi fero, dan asam organik), dan pH tanah rendah. Namun demikian kontribusi lahan rawa pasang surut di masa mendatang terhadap produksi pertanian akan semakin tinggi karena : 1) potensi menjadi lahan sawah masih luas; 2) peningkatan produktivitas lahan; 3) indeks panen bisa meningkat; 4) penurunan kehilangan hasil dapat ditekan (Khodijah, 2015). Salah satu tanaman yang dapat dikembangkan di lahan rawa adalah sorgum. Sorgum merupakan tanaman sereal yang mengandung gizi yang hampir sama dengan jagung. Masalah utama pengembangan tanaman sorgum yaitu nilai komparatif dan kompetitif masih rendah, penanganan pascapanen masih ada kendala, dan usaha tani sorgum di lingkungan petani belum intensif. Untuk mengatasi problema tersebut diperlukan pengelolaan sistem budidaya sorgum secara total, yaitu: 1) wilayah (lokasi tanam); 2) ekonomi (nilai komparatif dan kompetitif sorgum terhadap komoditas lain penting); 3) sosial (sikap dan persepsi petani terhadap sorgum sebagai bagian dari usaha agribisnisnya), dan 4) industri (nilai fungsi sorgum sebagai bahan baku industri makanan, dan pakan) (Sirappa, 2003). Indonesia belum berperan dalam pasar sorgum dunia maupun Asia karena pengembangan sorgum masih terbatas. Sorgum sebagai bahan pangan alternatif di Indonesia cukup potensial untuk

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

dikembangkan dalam rangka program diversifikasi pangan lokal sehingga berdampak mengurangi ketergantungan terhadap konsumsi terigu sebagai bahan pangan impor (Susilowati *et al.*, 2014), maupun mengurangi ketergantungan terhadap konsumsi beras.

Tumbuhan, termasuk sorgum pada dasarnya memiliki senyawa kimia kompleks dan bermacam jenisnya. Kandungan senyawa dikelompokkan menjadi senyawa metabolit primer dan metabolit sekunder. Senyawa metabolit primer adalah senyawa hasil metabolisme yang digunakan organisme untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya, umumnya berupa molekul besar seperti karbohidrat, lemak, protein, dan asam nukleat. Senyawa metabolit sekunder adalah molekul kecil dan merupakan hasil metabolisme didapatkan secara terbatas oleh organisme. Umumnya metabolit sekunder mempunyai bioaktivitas spesifik dan berfungsi sebagai pertahanan terhadap hama atau penyakit dan sebagai kosmetik (Nofiani 2008 ; Setyorini dan Yusnawan, 2016). Selanjutnya Mariska (2013) menjelaskan untuk menghasilkan metabolit sekunder tidak sama dengan metabolit primer, senyawa metabolit sekunder dihasilkan bukan di dalam jalur biosintesis karbohidrat dan protein. Umumnya terdapat tiga jalur utama dalam proses pembentukan metabolit sekunder, yaitu jalur asam malonat, asam mevalonat, dan asam shikimat. Metabolit sekunder dihasilkan oleh tanaman dalam jumlah tertentu pada kondisi cekaman. Senyawa fenolik, misalnya diproduksi dari tanaman adaptif maka akan menghambat pertumbuhan *S. ascospores* yang lebih kuat dibanding tanaman rentan. Demikian juga kandungan tanin tinggi pada kedelai varietas Mutiara menyebabkan tanaman lebih tahan

terhadap serangan lalat bibit *Ophiomyia phaseoli* (Muliani, 2013). Tanaman yang menghasilkan senyawa metabolit sekunder akan berpotensi dijadikan sebagai sumber gen tahan terhadap hama atau penyakit tertentu, hal ini berpeluang sebagai biopestisida (Leiss *et al.*, 2011). Pada kelangsungan hidup tanaman ternyata senyawa metabolit sekunder tidak berperan secara langsung, namun berkontribusi dengan beberapa keuntungan, seperti berfungsi sebagai pertahanan diri internal tanaman dari cekaman biotik maupun abiotik. Cekaman biotik disebabkan oleh organisme pengganggu tanaman seperti hama, penyakit, dan gulma. Senyawa metabolit sekunder terhadap manusia fungsinya bisa bersifat racun, namun juga bisa sebagai zat yang menguntungkan tergantung jenis senyawa yang terbentuk. Senyawa metabolit sekunder yang bermanfaat untuk kepentingan manusia berupa sebagai obat, pestisida, dan bahan baku kosmetik (Setyorini dan Yusnawan, 2016). Selanjutnya Mariska (2013) menyebutkan senyawa metabolit sekunder pada tanaman mempunyai beragam fungsi yaitu, sebagai atraktan (penarik serangga), sebagai pelindung dari cekaman lingkungan, pelindung dari hama atau penyakit (*fitoaleksin*), melindungi dari ultra violet, berfungsi zat pengatur tumbuh dan sebagai senyawa alelokimia. Beberapa senyawa fenolik memiliki aktivitas sebagai alelopati dan bisa mempengaruhi tanaman yang hidup berdampingan (Mariska 2013).

Produktivitas tanaman untuk menghasilkan senyawa metabolit sekunder dapat ditingkatkan dengan beberapa strategi, yaitu mengoptimalkan faktor fisiologi lingkungan hidup sel seperti memanipulasi zat nutrisi media, zat pengatur tumbuh, prekursor dan elisitor untuk menyusun

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

metabolit sekunder. Pemberian polietilen glikol akan berdampak kekurangan air sehingga berlanjut menginduksi protein, mengkode gen-gen penyusun enzim yang terlibat dalam biosintesis metabolisme sekunder. Meningkatnya kandungan enzim pada jaringan tanaman maka kandungan metabolit sekunder bisa meningkat. Kondisi cekaman merupakan salah satu faktor eksternal yang mempengaruhi dan dapat meningkatkan metabolit sekunder (Zulhilmi dan Surya, 2012). Metabolit sekunder bisa ditingkatkan produksinya dengan cekaman abiotik maupun biotik (Einhellig 1996). Tanaman akan aktif dengan pertahanannya saat adanya serangan hama, penyakit maupun adanya stres biotik atau abiotik. Pembentukan fitoaleksin yang merupakan salah satu sebagai respon hipersensitif dan menebalnya lignin yang terbentuk di dinding sel sebagai cara pertahanan mekanik (Namdeo 2007). Senyawa flavonoid merupakan salah satu yang berfungsi melindungi tanaman dari cekaman biotik ataupun abiotik. Senyawa lain yang dihasilkan sebagai dampak terhadap cekaman biotik dan abiotik adalah asam absisat (Atkinson dan Urwin 2012), etilen, dan asam jasmonat pada tanaman tingkat tinggi (Creelman dan Mullet 1995). Manfaat mengetahui produksi metabolit sekunder yaitu bisa mengetahui mekanisme produksi metabolit sekunder sehingga ke depannya dapat memanfaatkan peluang untuk budidaya yang lebih efektif dan efisien untuk menuju pertanian berkelanjutan. Tujuan penulisan artikel ini adalah untuk mendiskripsikan peluang serta potensi pengembangan budidaya sorgum di lahan rawa dengan pemanfaatan alelopati dalam teknik budidaya yang ramah lingkungan.

Karakteristik Lahan Rawa Untuk

Produksi Tanaman

Lahan marginal yang terdiri atas lahan rawa lebak, pasang surut dan lahan kering masam umumnya tidak subur. Ketersediaan lahan rawa cukup luas namun masih sedikit pengelolaan secara optimal. Lahan rawa (lebak) merupakan suatu kawasan alam yang terbentuk secara alami maupun akibat dibuat oleh manusia yang mempunyai fungsi penting terhadap ekosistem. Ekosistem rawa merupakan cekungan baik di dataran rendah maupun dataran tinggi, dan bahan induknya bisa berupa bahan mineral ataupun bahan organik. Ekosistem rawa sangat dipengaruhi oleh keberadaan air yang merupakan faktor kunci dalam pemanfaatan, pengelolaan, dan karakteristik rawa. Kondisi keberadaan air akan menentukan sifat tanah di lahan rawa, dinamika ketersediaan hara, maupun kelarutan unsur beracun disaat kondisi tergenang (Fahmi, 2018). Lahan rawa merupakan lahan basah, atau "*wetland*" adalah salah satu aset sumberdaya tanah yang semakin penting perannya di masa mendatang. Pengembangan lahan rawa untuk pertanian, selain memiliki potensi dan prospek yang besar, juga menghadapi berbagai kendala, baik biofisik, sosial ekonomi, maupun kelembagaan (Kurniawan *et al.*, 2017 ; Khodijah, 2015).

Lahan rawa lebak pada dasarnya mempunyai dua jenis tanah yaitu tanah mineral dan tanah gambut. Tanah mineral didapat dari endapan saat limpasan air sungai meluap (saat hujan), sedangkan tanah gambut berupa lapisan gambut utuh atau lapisan gambut berselang seling susunannya dengan tanah mineral. Ciri tanah mineral mempunyai faksi liat dengan tingkat kesuburan secara alami sedang hingga tinggi dengan kemasaman tanah pH 4-5 dan tingkat

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

drainase terhambat hingga sedang. Setiap periode tahunan lahan lebak memperoleh endapan berasal dari daerah di hulu, sehingga meskipun tingkat kesuburan sedang, namun keragamannya cukup tinggi antar lokasi (Yasin, 2013). Susunan dan karakteristik kimia lahan gambut ditentukan oleh kandungan mineral, ketebalan, jenis mineral dasar gambutnya, dan tingkat pembusukan gambut. Pada umumnya kandungan mineral gambut kurang 5 % dan didominasi bahan organik. Karakteristik gambut sangat masam, dengan pH 4 - 5 yang dipengaruhi oleh asam organik, sedangkan pada pH < 4 karena adanya kontribusi H⁺ dari oksidasi pirit (Yasin, 2013).

Berdasarkan tinggi dan lama genangan air, lahan rawa lebak terdapat tiga kategori, yaitu lebak dangkal (pematang), lebak tengahan, dan lebak dalam. Permasalahan pada teknik budidaya di lahan rawa lebak diantaranya: 1) lama dan ketinggian genangan; 2) terjadinya kekeringan saat musim kemarau; 3) penggunaan satu varietas terus-menerus; 4) tidak menggunakan benih unggul; 5) keterbatasan varietas memadai, dan 6) penerapan pupuk kimia tidak sesuai aturan (Suparwoto dan Waluyo, 2019). Lahan rawa lebak mempunyai karakteristik sebagai berikut : keberadaannya di kiri dan kanan sungai besar atau anak sungai, topografi datar, tergenang air di musim penghujan, dan kering saat musim kemarau. Kendala penggunaan lahan rawa lebak (lebak dangkal) yaitu lahan baru bisa dimanfaatkan saat air macak-macak sampai ketinggian air sekitar 30 cm (tanam padi), sedangkan saat kondisi kering kebanyakan tidak dilakukan penanaman sehingga frekuensi penanaman hanya satu kali per tahun (Djamhari, 2009a), namun demikian masih ada peluang

penanaman palawija. Satu-satunya kategori lahan rawa lebak yang berpotensi dikembangkan untuk tanaman pangan yaitu rawa lebak dangkal (Helmi, 2015; Yasin, 2013 ; Balitbangtan 2007a).

Masalah utama yang sering muncul di lahan rawa lebak adalah kondisi air yang sering berubah sehingga perlu pengendalian air, dipengaruhi curah hujan, sering mendapatkan luapan banjir dari hulu, topografi air beragam dan belum ditata dengan baik, pH tanah masam, dan unsur hara tersedia relatif rendah, dan tingkat kesuburan tanah rendah hingga sedang. Namun demikian, pengembangan rawa lebak untuk pertanian khususnya tanaman pangan masih bisa dilakukan dalam skala luas (Effendi dan Abidin, 2013 ; Haryono *et al.*, 2013 ; Djamhari, 2009a). Pada umumnya produktivitas lahan rawa yang rendah disebabkan oleh teknologi budidaya secara konvensional yang belum bisa mengatasi pirit dan kelarutan Al, Fe, dan Mn yang tinggi (Bachtiar *et al.*, 2016). Selanjutnya Maas (2002) melaporkan bahwa terdapat kendala pada lahan rawa untuk agribisnis antara lain bahan induk rendah hara, lingkungan anaerob, ketebalan gambut dalam, mengandung pirit, dan bila dikelola untuk budidaya tanaman maka akan meracuni tanaman, dan pH tanah masam. Tingginya Kandungan unsur Al dan Fe yang tinggi menyebabkan reaksi tanah bersifat masam dengan pH tanah rendah (Helmi, 2015). Pengembangan dan eksplorasi lahan rawa harus berpedoman pada jenis tipologi lahan dan tipe genangannya. Jenis tipologi lahan maupun tipe genangan air, akan mempengaruhi cara pengelolaan sumber daya lahan. Manajemen kelola lahan termasuk pengelolaan pola tanam dengan jenis komoditas yang cocok, perlu

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

mempertimbangkan biofisik, tata air, dan kemampuan modal swadaya petani (Sudana, 2005).

Lahan rawa menjadi salah satu pilihan dalam pengembangan pertanian di masa mendatang berkenaan kondisi berkurangnya lahan subur, bertambahnya populasi penduduk, dan adanya alih fungsi lahan (Irianto 2006). Pemanfaatan lahan pertanian rawa untuk budidaya tanaman pangan merupakan tindakan yang tepat karena keberadaan lahan yang luas dengan penggunaan yang belum intensif (Sudana 2005 ; Effendi *et al.*, 2014). Pemanfaatan secara optimal lahan rawa untuk bidang pertanian membutuhkan suatu teknologi pengelolaan terpadu lahan dan air dengan penerapan teknologi lengkap budidaya tanaman yang tepat untuk memperoleh hasil yang optimal, selain faktor sosial ekonomi masyarakat, tata kelola kelembangan, dan dukungan prasarana yang memadai (Effendi *et al.*, 2014). Pada umumnya pengembangan lahan rawa diterapkan empat subsistem, yaitu pengembangan sumberdaya lahan, sistem budidaya, penerapan mekanisasi dan pascapanen, serta pengelolaan kelembagaan. Inovasi teknologi pertanian bisa diterapkan dalam rangka untuk percepatan pengembangan dan pembangunan pertanian di lahan rawa. Kontribusi dari institusi terkait, diperlukan guna mempermudah koordinasi dari perencanaan hingga pelaksanaan di lapangan (Effendi *et al.*, 2013).

Potensi lahan rawa lebak cukup besar dalam peningkatan kesejahteraan petani karena lahan rawa lebak ini bisa berfungsi untuk produksi pertanian, peningkatan penghasilan masyarakat, dan untuk kelestarian lingkungan setempat, sehingga lahan rawa cukup potensial untuk

pengembangan produksi pangan (Ridho Djafar, 2015). Pengembangan lahan rawa bisa dilakukan dengan pola ekstensifikasi dan intensifikasi, dengan pengelolaan tata air yang baik dimana kondisi lahan rawa dijaga tetap basah atau lembab. Optimasi tata kelola air dan peningkatan kesuburan lahan untuk budidaya tanaman pangan merupakan strategi dalam rangka meningkatkan pendapatan masyarakat (Ridho Djafar, 2015). Menurut Suryana (2016) dan Pujiharti (2017) untuk meningkatkan hasil dan produktivitas pangan, perhatian pemerintah dimasa mendatang lebih prioritas pada pengembangan wilayah tertinggal maupun pinggiran, seperti daerah perbatasan dan lahan marginal (rawa pasang surut dan rawa lebak), lahan kering (lahan kering masam maupun lahan kering beriklim kering), serta lahan terlantar (lahan tidur dan lahan bekas tambang). Kondisi tanah yang demikian, maka untuk eksplorasi lahan rawa lebak untuk agribisnis khususnya komoditas tanaman pangan dan hortikultura skala luas, membutuhkan penataan lahan dan jaringan tata kelola air yang sesuai dengan kondisi wilayah setempat supaya diperoleh hasil yang optimal (Yasin, 2013). Keberadaan lahan rawa merupakan potensi sumber daya alam yang dapat digunakan secara bijak. Potensi lahan rawa bisa menjadi sumber untuk mendorong laju pembangunan perekonomian dan kesejahteraan masyarakat khususnya petani. Oleh karena itu, dalam pengelolaan lahan rawa harus mengedepankan kondisi dan karakteristik lahan yang unik, yaitu dengan cara tidak melakukan pengelolaan lahan yang merubah lingkungan secara drastis yang bisa berdampak menurunnya kualitas lahan rawa. Pengelolaan lahan rawa untuk pengembangan pertanian perlu diarahkan

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

kepada agribisnis secara terpadu dan berkelanjutan sehingga berdampak terjaminnya produksi dan kelestarian lingkungan. Untuk mencapai cita-cita tersebut maka diperlukan strategi yaitu 1) pemetaan potensi sumberdaya lahan secara terperinci; 2) penjajakan kesesuaian lahan untuk pengembangan tanaman unggulan; 3) perbaikan fungsi jaringan tata kelola air; 4) memunculkan teknologi spesifik lokasi setempat; 5) peningkatan pemberdayaan masyarakat, dan 6) peningkatan sarana dan kelembagaan agribisnis. Implementasi strategi ini tentunya membutuhkan sinergisitas dan koordinasi yang efektif antar lembaga terkait mulai dari perencanaan hingga pelaksanaan (Ar-Riza dan Alkasuma, 2008).

Strategi optimasi lahan marginal lahan rawa bisa dilakukan melalui 1) perluasan lahan; 2) Indeks Pertanaman (IP) ditingkatkan dengan cara manajemen air dan penggunaan varietas unggul, dan 3) peningkatan potensi hasil dengan cara tata kelola lahan, pengolahan tanah, pemberian amelioran (lokal) dan pemupukan, pengendalian gulma terpadu, hama dan penyakit terpadu (PHT), serta penguatan kelembagaan yang ada. Dengan dilakukannya optimasi lahan rawa dengan dukungan teknologi pengelolaan dan budidaya yang baik serta peningkatan indeks pertanaman maka keberhasilan tidak mustahil akan tercapai (Susilawati *et al.*, 2016). Jumakir dan Endrizal, (2017) melaporkan bahwa penerapan teknologi di lahan rawa lebak berupa pengelolaan tata air, penataan lahan, pengelolaan kesuburan tanah, dan pemilihan tanaman unggul pada sistem surjan dapat meningkatkan produktivitas lahan dan diversifikasi jenis tanaman.

Potensi Budidaya Sorgum Di Lahan Rawa

Sorgum merupakan tanaman sereal dunia lama yang didomestikasi di Afrika dan menyebar ke seluruh penjuru dunia untuk menjadi salah satu tanaman bermanfaat yang diketahui manusia (Dahlberg *et al.*, 2011). Sorgum merupakan tanaman yang potensial untuk dikembangkan di lahan marginal di Indonesia dan termasuk sebagai salah satu tanaman pangan penting dunia yang menduduki peringkat kelima setelah gandum, beras, jagung, dan barley (Ruminta *et al.*, 2018). Sorgum merupakan komoditas ekspor sebagai bahan pangan, pakan, bioenergi/bioetanol terbarukan, bahan baku industri, dan mempunyai daya adaptasi yang luas (Sirappa, 2003; Galuh Puspitasari *et al.*, 2013; Suminar *et al.*, 2018; Subagio *et al.*, 2013 Aqil, 2013 dan Suarni, 2017).

Keunggulan sorgum adalah tanaman ini bisa diratoon, dan hasil ratoon satu kali masih sama dengan hasil pada sorgum yang tidak diratoon, sedangkan hasil sebagai bioetanol maupun pakan ternak pada sorgum yang diratoon menghasilkan lebih tinggi yang diratoon satu kali. Kemampuan meratoon dan produksi ratoon bisa mencapai 49-66 % dari hasil tanaman utama atau pertama (Meliala *et al.*, 2017). Dengan pemanfaatan daya ratoon yang tinggi maka menjadikan budidaya sorgum lebih efisien karena dapat mengurangi biaya tenaga kerja, periode waktu tanam, pengolahan tanah, dan penggunaan benih serta energi (Efendi *et al.*, 2013). Sorgum mempunyai potensi untuk energi terbarukan, sehingga bisa menghemat sumber daya berbahan fosil yang dapat mengurangi emisi gas rumah kaca. Sorgum bisa berfungsi sebagai pangan fungsional sehingga bisa menjadi sumber pendapatan bagi masyarakat khususnya petani (Pabendon *et al.*, 2012 ; Subagio *et al.*, 2013).

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

Selanjutnya Purnomohadi, (2006), sorgum termasuk tanaman C4, mempunyai tinggi 3-5 m yang efisien dengan produk fotosintesis cukup tinggi dan efisien dalam pemanfaatan unsur hara tanah serta tahan kekurangan air. Tanaman sorgum hampir seluruh bagian bermanfaat yaitu 1) batang penghasil nira; 2) biji sebagai bahan pangan, pakan dan industri; 3) daun hasil panen bisa sebagai pakan, dan 4) limbah ampas batang pada pembuatan nira bisa sebagai pakan atau bahan bakar alternatif. Adaptasi tanaman sorgum lebih luas dan toleransi terhadap berbagai stres abiotik seperti kekeringan (Tesso *et al.*, 2005), dan salinitas (Zegada-Lizarazu dan Monti, 2012). Sorgum memerlukan kebutuhan air yang kecil sekitar 8 ribu m³ ha⁻¹, sekitar 25 % yang dibutuhkan tanaman tebu (32 ribu m³ ha⁻¹) dan sekitar setengah dari kebutuhan air pada bit gula (16 ribu m³ ha⁻¹) (Umakanth *et al.*, 2018).

Kemampuan tanaman sorgum yang mampu beradaptasi di lahan marginal (lahan kering, lahan masam, dan lahan salin), daya adaptasi luas, memerlukan sedikit air, dan kebutuhan input yang rendah, serta cocok ditanam di lahan dengan kondisi kering dan panas sehingga pengembangan sorgum mempunyai masa depan yang cukup menjanjikan karena lahan yang sesuai untuk tanaman ini cukup luas, bisa ditanam di lahan bongkor sehingga berpeluang lebih produktif, dan tidak bersaing dengan tanaman pangan lain karena mampu tumbuh di lahan marginal (Suarni, 2017). Kegiatan budidaya sorgum di Indonesia belum intensif oleh masyarakat, padahal mempunyai potensi yang baik untuk memenuhi kecukupan pangan, bahan industri, dan pakan ternak yang selama ini masih impor (Sherly *et al.*, 2015). Sorgum mempunyai sifat toleran terhadap kekeringan dan genangan air, sehingga tanaman ini

mempunyai keunggulan jika dibandingkan dengan komoditi lain untuk dikembangkan di Indonesia (Sungkono *et al.*, 2009), dan relatif tahan hama dan penyakit (Pabendon *et al.*, 2012 ; Sirappa, 2003). Sorgum dengan kemampuannya untuk beradaptasi pada kondisi cekaman (kekeringan dan genangan) sehingga menjadikan tanaman ini mampu beradaptasi terhadap berbagai jenis lahan marginal khususnya lahan rawa. Lahan marginal di Indonesia bisa berkategori lahan basah dan kering (Elvira *et al.*, 2015).

Penelitian tentang kekurangan fosfor pada tanaman sorgum sudah dilakukan oleh Agustina *et al.*, (2010), Puspitasari *et al.*, (2012), Isnaini *et al.*, (2014), Sulistyowati *et al.*, (2015), Trikoesoemaningtyas *et al.*, (2017) dan Lestari *et al.*, (2017) dan hasilnya menunjukkan bahwa varietas sorgum yang tahan terhadap kekurangan fosfor adalah Numbu. Genotipe sorgum yang toleran terhadap defisiensi fosfor mampu mempertahankan pertumbuhan yang lebih baik jika dibanding genotipe yang peka yang ditunjukkan variabel bobot kering tajuk dan bobot kering akar genotipe toleran lebih tinggi jika dibanding genotipe yang peka (Agustina *et al.*, 2010). Sorgum merupakan tanaman yang tahan terhadap kondisi fosfor rendah sehingga potensi pengembangannya sangat tinggi (Momongan *et al.*, 2019). Pengembangan tanaman sorgum juga diarahkan pada lahan-lahan masam (Saniaty *et al.*, 2016). Pengembangan potensi genotipe sorgum toleran lahan masam merupakan upaya untuk mengoptimalkan penggunaan lahan marginal di Indonesia (Sungkono *et al.*, 2009). Hal ini merupakan peluang besar dalam pengembangan sorgum di lahan marginal seperti lahan rawa yang mempunyai karakteristik lahan masam.

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

Produksi Alelopati Pada Lingkungan Tercekam Alelopati dan Cekaman Biotik

Senyawa metabolit sekunder merupakan senyawa organik yang dihasilkan dalam jumlah sedikit melalui jalur metabolisme sekunder. Fungsi metabolit sekunder bagi tumbuhan sebagai pelindung terhadap cekaman maupun serangan OPT. Pemanfaatan metabolit sekunder yang diproduksi oleh tumbuhan untuk berbagai macam tujuan khususnya untuk pengobatan (Silalahi, 2017). Senyawa metabolit sekunder dihasilkan melalui jalur di luar biosintesa karbohidrat dan protein. Pembentukan metabolit sekunder ada tiga lintasan, yakni 1) lintasan asam malonat asetat, 2) lintasan asam mevalonat asetat, dan 3) lintasan asam shikimat. Untuk jalur, 1) lintasan asam malonat asetat terdiri atas asam lemak (laurat, miristat, palmitat, stearat, oleat, linoleat, linolenik), fosfolipida, glikolipida, gliserida, poliasetilen; 2) lintasan asam mevalonat terdiri minyak esensial, saponin, geraniol, asam absisat, squalen, monoterpenoid, menthol, korosinoid, streoid, terpenoid, dan giberelin dan 3) lintasan asam shikimat, terdiri atas asam benzoic, lignin, kumarin, tanin, asam amino benzoic dan quinon, asam sinamat, dan fenol (Mariska, 2013).

Cekaman lingkungan abiotik maupun cekaman biotik seringkali berimplikasi faktor-faktor penting yang mengubah manifestasi alelopati di alam (Einhellig, 1996 ; Inderjit dan Keating 1999 ; Inderjit dan Nayyar, 2002). Selain itu Einhellig (1999), Inderjit dan Nayyar (2002), menyatakan bahwa alelopati lebih jelas dan bisa menjadi penting ketika akseptor dipengaruhi oleh cekaman lingkungan yang tinggi. Dalam hal itu alelopati terlibat dalam proses adaptasi tanaman melalui tahapan

evolusi dan memiliki dampak positif terhadap peningkatan toleransi dan ketahanan tanaman terhadap kondisi yang tidak menguntungkan. Di sisi lain, tanaman di bawah cekaman alelopati menjadi kurang kuat, mungkin juga kurang toleran terhadap kondisi cekaman lainnya termasuk cekaman alelopati (Gawronska dan Golisz, 2006). Pada umumnya, cekaman lingkungan biasanya meningkatkan efektivitas alelopati tanaman target dan ini dicapai dengan peningkatan konsentrasi alelokimia dan menurunkan ambang batas konsentrasi senyawa alelokimia (Einhellig, 1996).

Tumbuhan yang terpapar oleh cekaman biotik seperti patogen, herbivora, dan hewan kecil, merespon dengan mekanisme pertahanan yang serupa dengan mengalokasikan kerangka karbon dari produktivitas tanaman untuk memproduksi dalam konsentrasi yang lebih tinggi dan molekul sintesis dari *mode of action*, terutama oleh mayoritas metabolit sekunder. Metabolit ini sering terlibat sebagai alelopati aktif karena diketahui fungsi ganda atau multifungsi dari metabolit sekunder. Tanaman setelah terpapar dengan cekaman biotik berpotensi memiliki aktivitas alelopatik yang lebih tinggi tidak hanya karena konsentrasi senyawa alelokimia yang lebih tinggi tetapi juga karena spektrum yang lebih luas dari senyawa tersebut (Gawronska dan Golisz, 2006). Senyawa ini unik dan berbeda setiap spesies serta diproduksi dalam jumlah berlebih pada keadaan tertentu oleh tanaman. Tanaman memproduksi senyawa metabolit sekunder sebagai mekanisme pertahanan dari cekaman, baik biotik maupun abiotik. Senyawa metabolit sekunder yang bermanfaat bisa digunakan sebagai obat, pestisida, dan bahan baku kosmetik (Setyorini dan Yusnawan, 2016).

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

Alelopati yang merupakan bagian dari aktivitas phytotoksik adalah cekaman biotik untuk organisme akseptor (penerima, target atau yang menderita) sebagai sebuah fenomena yang luas. Cekaman biotik digunakan dalam arti semuanya, selain alelopati, faktor biotik yang secara langsung atau tidak langsung membuat cekaman bagi organisme yang terlibat dalam jalur transduksi sinyal yang mengarah pada hasil lanjutan. Alelopati dan cekaman biotik digolongkan sebagai berikut yaitu : patogenesis, residu tanaman alelopatik dengan cekaman mikroba dalam tanah, autotoksisitas, infestasi herbivora, kompetisi, cekaman invasi gulma eksotis, dan gulma parasit (Gawronska dan Golisz, 2006). Autotoksisitas, yaitu sebagai fenomena toksisitas diri dimana bahan kimia sendiri menghambat atau menekan pertumbuhan jenisnya sendiri, hal ini memainkan peran penting dalam bidang pertanian, limbah, perkebunan, dan hutan. Meskipun proses tersebut memiliki sejumlah implikasi yang menyebabkan kerugian, namun proses tersebut memiliki beberapa signifikansi ekonomis (Singh *et al.*, 1999). Meskipun autotoksisitas adalah fenomena alami yang memberikan manfaat selektif bagi tanaman, namun bahan kimia yang bertanggung jawab yang memiliki potensi yang baik untuk pengelolaan gulma dan hama (Singh *et al.*, 2001).

Alelopati dan Cekaman Abiotik

Tumbuhan, jamur, dan mikroorganisme dilengkapi dengan komponen mesin biosintesis untuk menghasilkan banyak metabolit sekunder. Senyawa ini memiliki fungsi penting di alam sebagai pertahanan terhadap predator atau pesaing dan signifikansi ekologis lainnya. Pemanfaatan senyawa-senyawa ini untuk

makanan, obat-obatan, dan keperluan lain. Membutuhkan pemahaman secara menyeluruh tentang struktur dan jalur biokimia yang berbeda dari produksinya dalam sistem seluler (Nabavi *et al.*, 2020). Pendekatan alelopatik bisa diterapkan untuk mengendalikan gulma melalui penggunaan alelokimia (sebagai bioherbisida). Namun, efek alelopatik tanaman tergantung pada faktor biotik maupun abiotik. Pendekatan alelopatik akan berdampak terhadap pengurangan ketergantungan pestisida kimia yang terbukti sebagai kontaminan lingkungan (Normasuha dan Ismail, 2017). Alelopati berperan penting dalam ekosistem pertanian yang mengarah pada beragam interaksi antara tanaman dengan tanaman, tanaman dengan gulma, gulma dengan tanaman, dan tanaman dengan pohon. Saat ini interaksi alelopati secara umum, dan alelokimia khususnya dipandang sebagai komponen penting untuk pengelolaan gulma dan hama atau penyakit yang berkelanjutan (Singh *et al.*, 2001).

Metabolit sekunder pada tanaman diketahui telah berkontribusi pada mekanisme pertahanan terhadap herbivora dan organisme penyakit atau patogen. Konsentrasi senyawa-senyawa ini sering ditingkatkan oleh adanya cekaman biotik dan abiotik. Peningkatan alelopati bisa ditingkatkan di bawah cekaman lingkungan. Cekaman air meningkatkan metabolit sekunder fitotoksik di jaringan tanaman dan rhizosfer (Tang *et al.*, 1994). Selanjutnya Tongma *et al.*, (2001), mengemukakan bahwa di lapangan pada kondisi cekaman air, pertumbuhan *Tithonia diversifolia* berkurang tetapi tanaman mengandung sejumlah besar bahan alelopatik per berat kering daripada tanpa adanya cekaman air. Alelopati sangat erat dengan persaingan terhadap sumber daya

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

dan cekaman oleh penyakit, suhu ekstrem, kelembaban rendah, dan adanya herbisida. Cekaman seperti itu sering meningkatkan produksi alelokimia (Einhellig, 1994).

Kemajuan dalam studi alelopati akan lebih pesat jika alelopati diselidiki dalam konteks ekologi tanah terutama ekologi kimia tanah, daripada menekankan pencarian interaksi kimia tanaman dengan tanaman secara langsung (Inderjit dan Weiner Jacob, 2001). Tanaman dapat mempengaruhi atau merugikan tanaman lain melalui senyawa alelokimia, yang dapat dilepaskan secara langsung maupun tidak langsung dari tanaman hidup ataupun mati (termasuk mikroorganisme). Karena peningkatan jumlah gulma tahan herbisida dan permasalahan lingkungan dalam penggunaan herbisida sintetik, sehingga ada banyak upaya dalam merancang strategi pengelolaan gulma alternatif (Bhowmik dan Inderjit, 2003). Tanaman mengandung alelopatik memancarkan beragam dan banyak jenis alelokimia dengan potensi untuk menekan gulma dan hama tanaman. Tanaman yang mengandung alelopati tinggi diantaranya gandum, jagung, barley, alfalfa, brassica spp., padi, bunga matahari, dan sorgum. Potensi alelopatik dari tanaman memiliki implikasi yang relevan dalam sistem pertanian. Tanaman dibantu oleh alelopati dalam sistem pertahanan terutama saat stres biotik maupun stres abiotik, demikian juga dalam suplai unsur hara. Potensi tanaman alelopatik dapat dimanipulasi secara bijak dengan menyesuaikan tanaman ini sebagai tanaman rotasi, tanaman penutup permukaan, atau tanaman sela untuk mengurangi cekaman hama dan manajemen nutrisi yang bijaksana (Jabran dan Farooq, 2013).

Alelopati Pada Tanaman Sorgum

Alelopati tanaman sorgum dapat dieksploitasi dalam praktik yang berbeda (sebagai tanaman penutup, tanaman pendamping, tanaman campuran untuk mengendalikan gulma, dan penghambatan nitrifikasi) dan penerapan ekstrak airnya di lahan untuk mengendalikan gulma sehingga bisa meningkatkan produktivitas tanaman (Alsaadawi dan Dayan, 2009 ; Alsaadawi, 2013). Eksudat akar yang mengandung metabolit spesifik pada akar memiliki dampak ekologis yang kritis terhadap makro tanah dan mikrobiota serta terhadap keseluruhan tanaman itu sendiri. Melalui eksudasi berbagai senyawa dari akar berdampak terhadap komunitas mikroba tanah di sekitarnya, dapat mempengaruhi ketahanan terhadap hama, mendukung simbiosis yang bermanfaat, dapat mengubah sifat kimia dan fisik tanah, dan dapat menghambat pertumbuhan tanaman yang berkompetisi (Bertin *et al.*, 2003).

Beberapa hasil penelitian yang telah dilaksanakan dan menunjukkan bahwa sorgum mempunyai alelopati yang menghambat gulma dan meningkatkan hasil tanaman budidaya. Residu gulma mampu menekan gulma di ladang sebesar 70 – 98 %. Sorgum dewasa ketika diaplikasikan ke tanah pada 2 - 6 Mg ha⁻¹ mengurangi gulma sebesar 40 – 50 % dan meningkatkan hasil gandum sebesar 15 %. Semprotan '*sorgaab*' (ekstrak air dari tanaman dewasa yang diperoleh setelah direndam air selama sehari) mengurangi kepadatan gulma dan biomassa sebesar 35 – 49 % dan meningkatkan hasil gandum sebesar 10 – 21 %. *Sorgaab* dari gulma dapat digunakan sebagai penghambat gulma alami pada pertanaman gandum beririgasi (Singh *et al.*, 2003). Berdasarkan Tabel 1 menunjukkan bahwa alelokimia utama yang terkandung di dalam alelopati

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

sorgum berupa Sorgoleone, Dhurrin dan Fenolik. Sorgoleone merupakan alelokimia yang berasal dari sorgum dan paling banyak diteliti sebagai alelokimia untuk pengendalian gulma yang ramah lingkungan. Penelitian tentang alelokimia utama sorgum telah dilakukan mulai Netzly dan Butler (1986) sampai yang terbaru Tibugari, Chiduzi, *et al.*, (2019). Alelokimia dalam sorgum berikutnya adalah Dhurrin dan telah dilaporkan mulai Haskins dan Gorz (1984) dan terakhir oleh Bajwa *et al.*, (2013a) dan Maqbool *et al.*, (2013). Selanjutnya asam Fenolik yang relatif baru dan telah diteliti oleh Sene *et al.*, (2001), Uddin *et al.*, (2010), dan Jabran dan Farooq (2013). Penelusuran pustaka yang terkait alelokimia yang terkandung pada alelopati sorgum menjadi sangat penting guna memperbaharui khasanah keilmuan yang bermanfaat untuk penyempurnaan hasil temuan alelopati pada tanaman sorgum. Alelokimia yang terkandung di dalam alelopati sorgum mempunyai peranan terhadap pengendalian gulma.

Alelokimia Sorgoleone

Di beberapa bagian belahan dunia, perubahan dalam sistem budidaya diinginkan karena faktor-faktor seperti perubahan iklim, evolusi resisten tahan herbisida pada gulma, dan pencemaran lingkungan. Sistem tanam baru harus disesuaikan untuk memiliki tanaman alelopatik seperti sorgum dalam bentuk rotasi tanaman dan sistem lainnya. Selain itu, ada keperluan untuk genotipe sorgum baru yang memiliki potensi alelopatik tinggi. Formulasi sorgoleone dalam bentuk produk dapat menjadi pengembangan yang baik untuk menangani masalah seperti evolusi resistensi herbisida pada gulma, pencemaran lingkungan, dan pencemaran makanan karena residu

herbisida. Menurut Uddin *et al.*, (2014), di mana sorgoleone dalam bentuk formulasi menunjukkan hasil yang menjanjikan terhadap gulma karena daya pengendaliannya. Namun, produk tersebut akan dilakukan pengujian terhadap berbagai gulma dengan berbagai kondisi iklim dan tanah. Komersialisasi produk ini akan meningkat seiring waktu dan berkontribusi secara nyata terhadap keberlanjutan pengendalian gulma (Jabran, 2017b).

Meningkatnya populasi masyarakat dunia adalah ancaman bagi ketahanan pangan dan keberlanjutan pertanian. Alelopati telah muncul sebagai pendekatan pragmatis untuk menyelesaikan berbagai masalah dalam pertanian modern. Berbagai pendekatan termasuk rotasi tanaman, tanaman penutup, tumpangsari, mulsa, penggabungan sisa tanaman, dan aplikasi ekstrak air sedang digunakan untuk mengeksplorasi alelopati untuk pengelolaan hama, mitigasi cekaman, dan peningkatan pertumbuhan dan produksi tanaman (Bajwa *et al.*, 2013a). Iklim global dunia memprediksi kenaikan suhu rata-rata harian, perubahan pola hujan, peningkatan lama kekeringan, banjir di masa yang akan datang, dan cekaman abiotik. Semua ini merupakan ancaman terhadap produksi tanaman dan keamanan pangan. Identifikasi gen yang bertanggung jawab untuk memproduksi alelokimia, dan pengembangan tanaman transgenik dengan pemanfaatan gen tersebut menjadi pilihan yang menarik untuk meningkatkan ketahanan terhadap tekanan abiotik (Maqbool *et al.*, 2013).

Sorgum adalah tanaman alelopatik yang paling banyak dipelajari mengenai aplikasi ekstrak air (*sorgaab*) dan implikasi lain dari alelokimia (Weston dan Duke, 2003 ; Alsaadawi dan Dayan, 2009). Sorgum memiliki sorgoleone (2-hydroxy-5- methoxy-

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

3 - [(80Z, 110Z) -8, 11, 14-pentadecatriene] - p-benzoquinone) (Netzly dan Butler, 1986 ; Nimbal *et al.*, 1996), 5-ethoxysorgoleone, 2,5-dimethoxysorgoleone (Czarnota *et al.* 2003), fenolik (Lehle dan Putnam, 1983; Einhellig dan Souza, 1992; Einhellig *et al.*, 1993) seperti asam vanilik, asam p-hidroksibenzoat, p-hydroxybenzaldehyde, p-coumaric acid, asam ferulik (Sene *et al.*, 2001) mulai dari 1,1 hingga 2,2 % di bagian tanaman yang berbeda. Semua alelokimia ini memiliki potensi sebagai pemacu pertumbuhan bila digunakan pada konsentrasi yang lebih rendah (Bajwa *et al.*, 2013a). Akumulasi bobot akar dan sorgoleone paling tinggi setelah aplikasi asam jasmonik dan methyl jasmonate pada konsentrasi 5,0 μM , dan kemudian menurun dengan meningkatnya konsentrasi jasmonate. Hal ini membuka penelitian bagi biosintesis sorgoleone yang lebih efektif, alelokimia yang penting dan berguna yang diperoleh dari berbagai spesies tanaman (Uddin *et al.*, 2013).

Residu sorgum melepaskan sorgoleone, cyanogenic glycosides dhurrin, dan sejumlah produk pemecahan fenolik yang menekan gulma (Guenzi dan McCalla, 1966 ; Nicollier *et al.*, 1983 ; Weston *et al.*, 1989 ; Weston, 1996). Sorgoleone biasanya mengacu pada 1 (2-hidroksi-5-metoksi-3 - [(80Z,110Z) - 80.110.140-pentadecatriene]-p-benzoquinone [CAS 105018- 76-6]), salah satu komponen utama zat minyak yang keluar dari akar sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) (Dayan *et al.*, 2010). Senyawa sorgoleone lain yang berkaitan erat, termasuk 5-ethoxysorgoleone, 2,5 - dimethoxysorgoleone. Beberapa senyawa ini memiliki aktivitas phytotoxic yang kuat sebagai penghambat fotosistem II, sehingga sorgum spp. bersifat allelopatik (Czarnota *et*

al., 2003). Genotipe sorgum sangat bervariasi dalam jumlah sorgoleone yang dihasilkan. Eksudat akar umumnya mengandung 85-90% sorgoleone murni berdasarkan analisis HPLC (Nimbal, Pedersen, *et al.*, 1996). Selanjutnya Uddin *et al.*, (2012) sorgoleone adalah penghambat potensial transpor elektron fotosintesis dan mengikat yang sama dari protein D1 seperti diuron, atrazin, atau metribuzin.

Sorgoleone adalah p-benzoquinone yang dikeluarkan dari akar beberapa spesies sorgum pertama kali diisolasi oleh Netzley dan Butler (1986) dari eksudat akar *S. bicolor* (L.) Moensch. Einhellig *et al.*, (1993) dan Nimbal *et al.*, (1996) melaporkan fitotoksitas sorgoleone pada sejumlah tanaman dan gulma. Hambatan pertumbuhan disebabkan oleh menghambat fotosintesis (transportasi elektron PS II) dan respirasi. Sorgoleone bila diterapkan pada tingkat 0,6 a.i. kg ha^{-1} pada gulma umur 14 hari menyebabkan penurunan yang signifikan dalam pertumbuhan dan perkembangan gulma, terutama yang berdaun lebar. Sepuluh hari setelah penghambatan lebih lanjut klorosis parah diikuti nekrosis, dan efeknya mirip dengan herbisida sintetik. Para penulis menyimpulkan bahwa sorgoleone memiliki sifat pra dan post emergence ketika diterapkan pada tanah atau pada daun muda atau bibit (Singh *et al.*, 2003).

Alelokimia sorgoleone diproduksi dan dilepaskan dari rambut akar sorgum. Studi telah mengkonfirmasi bahwa pelepasan sorgoleone yang menyebabkan sifat phytotoxic dari sorgum, dan sorgoleone memiliki potensi untuk menjadi herbisida alami, atau aktivitas penekan gulma dari sorgum dapat digunakan dalam pengelolaan gulma terintegrasi (Gimsing *et al.*, 2009). Selanjutnya Uddin *et al.*, (2012) sorgoleone

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

dapat dianggap sebagai pendekatan yang efektif dan berkelanjutan secara ekologis dan lingkungan untuk mengendalikan ganggang yang berbahaya. Meningkatnya insiden cekaman abiotik menyebabkan generasi *reactive oxygen species* (ROS) yang mungkin bertanggung jawab atas efek buruk pada pertumbuhan dan morfologi tanaman budidaya. Lebih jauh, pengurangan hasil dan produktivitas tanaman mungkin terkait dengan peningkatan jumlah ROS (Hasanuzzaman, 2020). Perlakuan benih pra-tanam dapat dimanfaatkan untuk mengurangi cekaman alelopati pada jagung melalui induksi antioksidan enzimatis (Khaliq *et al.*, 2013). Pengurangan daun sorgum akan mengurangi total luas permukaan daun yang dapat mengurangi cahaya untuk fotosintesis maksimum, dan berdampak pengurangan volume akar dan selanjutnya pengurangan sorgoleone (Tibugari, *et al.*, 2019).

Efek alelopatik dari sorgum dapat menekan keberadaan gulma dan meningkatkan hasil panen jika kultivar tersebut mampu menghasilkan bahan kimia alami yang efektif dalam menekan gulma. Sorgum liar (*S. Helepance*) memiliki potensi tinggi untuk digunakan dalam pengendalian gulma dengan pemanfaatan alelopatinya (Tibugari, Chiduzza, *et al.*, 2019). Sorgoleone dari berbagai kultivar menunjukkan bervariasi yaitu mulai dari 0,67 - 17,8 mg sorgoleone per g berat segar akar. Produksi sorgoleone optimal pada suhu antara 25 – 35 °C dan menurun secara nyata di luar kisaran ini. Tingkat produksi sorgoleone berkurang hampir 50 % setelah terpapar cahaya biru (470 nm) dan sebesar 23 % dengan lampu merah (670 nm) (Cook *et al.*, 2006). Sorgoleone mengandung alelokimia dan gulma sangat rentan terhadap alelokimia ini. Kemampuan menekan gulma yang kuat dari

sorgoleone maka sorgoleone bisa menjadi herbisida yang ramah lingkungan yang efektif untuk pengelolaan gulma (Uddin *et al.*, 2010). Tabel 2 menunjukkan bahwa alelokimia pada jenis alelopati sorgum telah diteliti dengan sasaran utamanya adalah gulma atau tanaman. Alelokimia sorgoleone lebih mendominasi untuk penekanan atau mempunyai daya hambat terhadap gulma maupun tanaman. Penelitian ini telah dilakukan mulai dari Netzley dan Butler (1986) sampai Jahangeer (2011).

Alelokimia Dhurrin

Alternatif biorasional semakin mendapat perhatian untuk pengendalian gulma karena maraknya produk tidak berlabel. Alelopati menawarkan potensi untuk pengendalian gulma biorasional melalui produksi dan pelepasan alelokimia melalui daun, bunga, biji, batang, dan akar dari bahan tanaman yang hidup atau yang sudah terurai. Alelokimia sering menunjukkan selektivitas, mirip dengan herbisida sintetik. Dua pendekatan utama untuk menekan gulma, *pertama* ; penggunaan tanaman sebagai rotasi tanaman atau mulsa. *Kedua* adalah penggunaan residu tanaman penutup atau mulsa hidup untuk menekan pertumbuhan gulma. Residu tanaman penutup secara selektif dapat memberikan penekanan gulma melalui keberadaan fisiknya di permukaan tanah dan melepaskan alelokimia (Weston, 1996).

Sorgum melepaskan glikosida sianogen dan menekan pertumbuhan tanaman lain. Dhurrin mempunyai sebuah sianogen glikosida ada di beberapa bagian sorgum dan setelah hidrolisis menghasilkan hidrogen sianida, glukosa, dan p-hidroksibenzaldehida (Weston, 1996). Terdapat dua jalur pergantian dhurrin endogen di sorgum, mengidentifikasi gen yang diduga terlibat

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

dalam transformasi dan dhurrin mempunyai sifat pencegah serangga, selain itu berfungsi sebagai bentuk penyimpanan nitrogen yang berkurang. Dalam proses pematangan biji sorgum, proanthocyanidins menggantikan dhurrin sebagai senyawa pertahanan (Nielsen *et al.*, 2016).

Kandungan dhurrin pada daun tua tanaman sorgum adalah ukuran kuantitatif tingkat toleransi kekeringan sebelum dan sesudah penanaman, dengan kandungan dhurrin tinggi yang diekspresikan dalam garis toleran kekeringan pasca-penanaman (Emendack *et al.*, 2017). *Sorghum halapence* merupakan gulma merupakan permasalahan serius di Amerika Serikat bagian tenggara, dengan melepaskan senyawa beracun ke tanaman tingkat tinggi. *Phytotoxins* dan *taxiphyllin* yang telah diisolasi dari ekstrak metanol rimpang *Sorghum halapence* (Nicollier *et al.*, 1983). Banyak tanaman pangan penting menghasilkan sianogen glukosida sebagai senyawa pertahanan alami untuk melindungi dari serangan herbivora atau patogen. Metabolit sekunder berbasis nitrogen ini bertindak sebagai cadangan penyimpanan nitrogen. Dhurrin melalui jalur endogen untuk pemulihan nitrogen sehingga menunjukkan enzim mana yang mungkin terlibat dalam jalur tersebut (Blomstedt *et al.*, 2016).

Curto *et al.*, (2012), melaporkan sel epidermis daun dan akar sorgum, *S. sudanensis* dan hibrida sorgum-sudangrass (*S. bicolor x S. sudanensis*) mengandung sianogenik glukosida dhurrin yang dapat terdegradasi menjadi hidrogen sianida (HCN), terkenal karena toksisitasnya bagi banyak organisme termasuk nematode. Dhurrin, sianogenik glukosida menyebabkan toksisitas mamalia pada saat konsentrasi tertinggi pada sorgum muda. Ketika sorgum

terluka atau stres, dhurrin dihidrolisis menjadi HCN, glukosa, dan p-hydroxybenzaldehyde dan atau p-hydroxybenzoic acid (Weston *et al.*, 1989). Rosati *et al.*, (2019), melaporkan sorgum menghasilkan dhurrin sianogenik glukosida, suatu metabolit sekunder untuk pertahanan tanaman dan respon dari cekaman. Produksi dhurrin diatur baik saat pertumbuhan maupun lingkungan dengan variasi tingkat tinggi di dalam dan di antara lini.

Meskipun glukosida sianogenik dianggap memainkan peran penting dalam pertumbuhan, perkembangan, dan ketahanan tanaman terhadap cekaman abiotik dan biotik, kehadirannya dalam konsentrasi tinggi dalam pakan dan makanan dapat berakibat berbahaya bagi hewan dan manusia. Sorgum bersifat sianogenik, dan potensi sianida bervariasi menurut faktor lingkungan, manajemen, dan latar belakang genetik. Sorgum muda kandungan sianida lebih rendah dari pada yang lebih tua. Cekaman air pra-tanam yang singkat dan pada pembungaan menurunkan dhurrin daun dan kadar gula terlarut, sedangkan cekaman air setelah pembungaan singkat atau cekaman air pra tanam yang berkepanjangan meningkatkan dhurrin dan kadar gula terlarut (Emendack *et al.*, 2018 ; Burke *et al.*, 2013).

Alelokimia Fenolik

Taylor *et al.*, (2014) melaporkan ada hal penting yang cukup besar pada sorgum untuk kandungan fitokimia, potensi nutrisi dan penggunaannya dalam produk bebas gluten. Pada umumnya kaya beberapa fitokimia fenolik. Fenolat dalam biji-bijian ini mungkin memiliki beberapa sifat yang meningkatkan kesehatan yang penting seperti pencegahan dan pengurangan stres oksidatif, anti kanker, anti diabetes, anti inflamasi, anti hipertensi, dan pencegahan penyakit

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

kardiovaskular. Sorgum merupakan sumber yang baik bagi fenolik seperti halnya tannin dan flavonoid lainnya (Barros *et al.*, 2012).

Senyawa fenolik dan aktivitas antioksidan lebih berkorelasi positif pada varietas yang tidak berkecambah dibandingkan dengan yang berkecambah. Biji sorgum dengan lapisan testa berpigmen, dan tanaman merah memiliki kandungan yang lebih tinggi, keanekaragaman senyawa fenolik yang lebih besar, dan aktivitas antioksidan yang lebih tinggi daripada sorgum jenis lainnya. Penanda biokimiawi yang ditentukan merupakan indikator yang berguna untuk pemilihan varietas sorgum sebagai bahan pangan dan mengetahui sifat agronomis (Dicko, *et al.*, 2005). Svensson *et al.*, (2010) melaporkan penelitiannya bertujuan untuk mengidentifikasi asam fenolik dan flavonoid pada varietas sorgum merah PAN 3860 dan untuk menentukan perubahan konsentrasi selama fermentasi dengan lactobacilli, menunjukkan bahwa fermentasi mikroba sorgum mempengaruhi kandungan polifenol dan dapat mempengaruhi nilai nutrisi dan aktivitas antimikroba sorgum. Kadar fenol dan aktivitas antioksidan paling tinggi bila sorgum memiliki warna tanaman ungu / merah ; pericarp hitam atau merah tua, tebal; dan testa berpigmen. Temuan ini memberikan pedoman yang berguna untuk menghasilkan sorgum dengan tingkat antioksidan terbesar, yang berpotensi sebagai sumber penting komponen sehat dalam makanan (Dykes *et al.*, 2005).

Cekaman suhu meningkatkan inisiasi alelokimia dan menunjukkan bahwa interaksi dengan lingkungan merupakan pertimbangan penting untuk memahami alelopati (Einhellig dan Eckrich, 1984). Kandungan senyawa fenolik dan enzim terkait sebelum dan

sesudah perkecambahan biji sorgum dibandingkan antara varietas yang resisten atau rentan terhadap stres biotik dan abiotik. Varietas sorgum yang resisten terhadap cekaman biotik dan abiotik rata-rata memiliki kandungan proanthocyanidins (PA), 3-deoxyanthocyanidins (3-A), dan flavan-4-ols yang lebih tinggi daripada varietas yang rentan. Senyawa fenolik total dan aktivitas enzim terkait, bukan penanda yang baik untuk ketahanan terhadap stres pada sorgum (Dicko *et al.*, 2005).

Cekaman abiotik seperti kekeringan, lama penyinaran, dan penyimpanan telah membatasi produksi sorgum di Afrika Barat. Ketahanan tanaman terhadap cekaman abiotik dan biotik seringkali diatur oleh metabolisme senyawa fenolik. Senyawa fenolik sorgum, misalnya phytoalexins (3-deoxyantho-cyanidins) atau allelochemicals (p-hydroxybenzoates, p-coumarate, dan flava-nols), terlibat dalam resistensi tanaman terhadap semua jenis cekaman, baik biotik (jamur, serangga, virus, dan lain-lain) dan abiotik (kekeringan, suhu, stres lama penyinaran, defisiensi nutrisi, dan lain-lain) menginduksi sintesis fenilalanin amonia (Dicko, *et al.*, 2005). Potensi alelopati ekstrak daun sorgum, dievaluasi untuk pengelolaan gulma berkelanjutan dalam pertanian organik. Bibit berumur 2 sampai 15 hari mengandung lebih banyak senyawa fenolik daripada tanaman yang lebih tua. Di antara 6 metode fisik ekstraksi yang digunakan, ekstrak dari penggilingan ditambah perebusan memberikan pengendalian gulma yang baik, namun ekstrak metanol daun sorgum terbukti yang terbaik. Ekstrak daun sorgum dapat memberikan pengendalian gulma yang efektif dan ramah lingkungan (Won *et al.*, 2013).

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

Pemanfaatan Alelopati Sorgum Untuk Produksi Tanaman Berkelanjutan

Gulma diketahui menyebabkan kerugian besar karena pengaruhnya terhadap ekosistem pertanian. Gulma menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan manusia, upaya di seluruh dunia sedang dilakukan untuk mengurangi ketergantungan terhadap herbisida sintetik yang digunakan untuk mengendalikan gulma. Dalam hal ini fenomena alelopati, yang diekspresikan melalui pelepasan bahan kimia oleh tanaman, telah disarankan sebagai salah satu alternatif untuk mencapai pengelolaan gulma berkelanjutan (Singh *et al.*, 2003).

Ancaman terhadap ketahanan pangan dan keberlanjutan pertanian salah satunya ditentukan oleh peningkatan jumlah penduduk. Pendekatan untuk menyelesaikan permasalahan pertanian modern salah satunya dengan penggunaan alelopati, dengan berbagai aplikasi di lapangan diantaranya rotasi tanaman, pemanfaatan tanaman penutup tanah, sistem tumpangsari, penggunaan mulsa, pemanfaatan limbah tanaman dan pemanfaatan ekstrak air (*sorgaap*). Semua ini bertujuan mengeksplorasi alelopati untuk pengelolaan hama, mitigasi cekaman, dan peningkatan pertumbuhan dan produksi tanaman (Bajwa *et al.*, 2013b). Budidaya tanaman yang mengandung alelopati merupakan fenomena yang baik dalam menekan gulma sekaligus menjadi pengelolaan tanaman secara terintegrasi. Penggunaan tanaman alelopati sebagai penutup tanah, berbagai jenis tanaman yang mengandung alelopati, penggunaan serasah sebagai mulsa, praktek ini semua merupakan untuk pengelolaan gulma ramah lingkungan dalam sistem pertanian (Jabran *et al.*, 2015).

Alelopati merupakan fenomena biologis yang umum dimana satu organisme menghasilkan biokimia yang mempengaruhi pertumbuhan, kelangsungan hidup, perkembangan, dan reproduksi organisme lain. Biokimia ini dikenal sebagai alelokimia dan mempunyai efek menguntungkan atau merugikan pada organisme sasaran. Alelopati tanaman merupakan salah satu cara interaksi antara tanaman penerima dan pemberi dan dapat memberikan efek positif (seperti, pengelolaan pertanian, pengendalian gulma, perlindungan tanaman, atau penanaman kembali) maupun efek negatif (misalnya, autotoksitas, penyakit tanah, atau invasi biologis). Untuk peranan dalam pembangunan pertanian berkelanjutan, penting untuk mengeksplorasi sistem budidaya yang mengambil keuntungan dari pengaruh stimulasi / penghambatan tanaman alelopatik untuk mengatur pertumbuhan dan perkembangan tanaman dan untuk menghindari autotoksitas alelopatik (Cheng dan Cheng, 2015). Tabel 3 menunjukkan pengaruh ekstrak alelopatik tanaman sorgum terhadap pengendalian gulma dan peningkatan hasil tanaman pada berbagai budidaya tanaman yang dilakukan oleh beberapa peneliti. Dari hasil ini menunjukkan bahwa ekstrak alelopatik mampu menekan berbagai spesies gulma yang ditandai dengan menurunnya kepadatan gulma dan menurunnya bobot kering gulma serta meningkatkan hasil tanaman budidaya dibandingkan kontrol. Ini merupakan bukti nyata bahwa ekstrak sorgum mampu menekan dan mengendalikan gulma diberbagai pertanaman budidaya. Alelopati memiliki potensi besar dalam meningkatkan produktivitas penanaman, jika digunakan secara bijaksana. Fenomena ini dapat digunakan dalam pertanian organik untuk

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

meningkatkan hasil panen dan untuk pengelolaan organik gulma, hama serangga, dan penyakit untuk melindungi lingkungan dari bahaya bahan kimia. Pengembangan kultivar tanaman dengan potensi alelopatik yang kuat mungkin cukup kuat untuk mengendalikan pengaruh cekaman biotik (gulma, hama serangga, dan penyakit) dan cekaman abiotik (kekeringan, salinitas, panas, dan lain-lain). Dimasukkannya tanaman alelopatik dalam rotasi pertanaman juga dapat membantu dalam meminimalkan cekaman oleh hama. Pemanfaatan ekstrak air tanaman alelopatik dikombinasikan dengan pengurangan dosis herbisida bisa menjadi strategi yang menjanjikan untuk pengelolaan gulma berkelanjutan (Cheema *et al.*, 2013). Alelopati merupakan fenomena alami dimana tanaman beralelopati melepaskan senyawa kimia (dikenal sebagai alelokimia) ke lingkungan melalui dekomposisi, pencucian (oleh air hujan), volatilisasi dan eksudat akar. Alelokimia dari tanaman beralelopati merangsang dan atau menghambat perkecambahan dan pertumbuhan tanaman sasaran. Efek alelopati dapat dikategorikan sebagai efek gulma pada tanaman, efek gulma pada gulma lain, efek tanaman pada gulma, dan efek pohon pada gulma atau tanaman. Metode penelitian alelopati selama ini berupa bioassay, aplikasi serasah, aplikasi tanah rhizosfer, metode sandwich, metode piring dan metode kotak tanaman. Namun, efek alelopati tanaman tergantung pada faktor biotik dan abiotik. Pemanfaatan alelopati akan menyebabkan pengurangan ketergantungan pada pestisida kimia yang terbukti sebagai kontaminan lingkungan (Nornasuha dan Ismail, 2017).

Efek penghambatan tanaman terhadap gulma terutama pada gulma daun lebar, hal tersebut terjadi karena adanya alelopati

sorgum yang mempunyai daya hambat pada area tanam pertanian yang cukup lama. Hal ini memiliki implikasi untuk strategi pengelolaan gulma di pertanian (Einhellig dan Rasmussen, 1989). Meskipun, tanaman alelopatik ini tidak memberikan pengendalian gulma yang lengkap, namun dapat mengelola populasi gulma pada tingkat ambang ekonomi. Ini dapat menghilangkan atau meminimalkan penggunaan herbisida saat ini dan dengan demikian mengatasi semua masalah utama yang terkait dengan herbisida (Narwal dan Haouala, 2013). Alelopati menawarkan pengendalian gulma, hama serangga, dan penyakit secara alami. Biosintesis metabolit sekunder dengan laju lebih tinggi dan perannya dalam pensinyalan stres memberikan pertahanan yang sangat baik terhadap cekaman abiotik. Alelokimia yang dipancarkan dalam rhizosfer, tanaman meningkatkan perolehan nutrisi melalui proses pelarutan, penghambatan nitrifikasi biologis, pengkelatan dan retensi. Alelokimia pada konsentrasi rendah meningkatkan pertumbuhan tanaman, namun pada konsentrasi tinggi akan menekan pertumbuhan tanaman. Ekstrak air alelopati konsentrasi rendah dari sorgum, kubis kubisan, bunga matahari, padi, gandum, jagung dan kelor meningkatkan pertumbuhan tanaman. Pemanfaatan alelopati dengan bijaksana dalam produksi tanaman maka akan cukup efektif dalam mengelola hama pertanian dan meningkatkan produktivitas pertanian (Bajwa *et al.*, 2013b). Diagram alir pemanfaatan alelopati untuk produksi tanaman berkelanjutan ditunjukkan pada Gambar 1.

KESIMPULAN

Sorgum berpeluang besar dibudidayakan di lahan rawa karena mempunyai kemampuan adaptasi luas

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

terhadap berbagai cekaman lingkungan baik biotik maupun abiotik, seperti kekeringan, genangan dan toleran terhadap kondisi tanah dengan fosfor rendah.

Proses adaptasi tanaman sorgum dengan lingkungan tumbuh yang kurang menguntungkan terjadi dengan peningkatan produksi alelokimia sorgoleone, dhurrin, dan fenolik.

Ekstrak alelokimia tanaman sorgum dapat dimanfaatkan menjadi bahan bioherbisida untuk produksi berbagai jenis tanaman secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, K., Sopandie, D., Desta Wirnas, D. (2010). Tanggapan Fisiologi Akar Sorgum (*Sorghum bicolor* L. Moench) terhadap Cekaman Aluminium dan Defisiensi Fosfor di dalam Rhizotron. In *J. Agron. Indonesia* Vol. 38, (2).
- Alsaadawi, I. S. (2013). Allelopathic potential of sorghum in agroecosystems. In *Allelopathy: Current Trends and Future Applications* (pp. 321–336). Springer Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-30595-5_13
- Alsaadawi, I. S., Dayan, F. E. (2009). Potentials and prospects of sorghum allelopathy in agroecosystems. In *International Allelopathy Foundation*. Vol. 24, (2).
- Aqil, M. (2013). Pengelolaan Proses Pascapanen Sorgum untuk Pangan. *Seminar Nasional Serealia*.
- Ar-Riza, I., Alkasuma. (2008). Pertanian Lahan Rawa Pasang Surut dan Strategi Pengembangannya dalam Era Otonomi Daerah. *Jurnal Sumberdaya Lahan* Vol. 2 No. 2.
- Atkinson, N.J. and P.E. Urwin. (2012). The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field. *Journal of Experimental Botany* 63(10): 3523–3544
- Bachtiar, Ghulamahdi, M., Melati, M., Guntoro, D., Sutandi, A. (2016). Kebutuhan Nitrogen Tanaman Kedelai pada Tanah Mineral dan Mineral Bergambut dengan Budidaya Jenuh Air. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*. Vol 35 No 3.
- Bajwa, A. A., Cheema, S. A., Cheema, Z. A. (2013a). Application of allelopathy in crop production. *Int. J. Agric. Biol*, 15, 1367–1378. <http://www.fspublishers.org>
- Bajwa, A. A., Cheema, S. A., Cheema, Z. A. (2013b). Application of allelopathy in crop production. *Int. J. Agric. Biol*, 15, 1367–1378. <http://www.fspublishers.org>
- Balitbangtan. 2007. Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT). Padi Lahan Rawa Lebak. *Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, Jakarta. 49 hlm.
- Barros, F., Awika, J. M., Rooney, L. W. (2012). Interaction of tannins and other sorghum phenolic compounds with starch and effects on in vitro starch digestibility. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60 (46), 11609–11617. <https://doi.org/10.1021/jf3034539>
- BBSDLP. (2014). Sumber daya lahan pertanian Indonesia, luas, penyebaran dan potensi ketersediaan. Laporan Teknis Nomor 1. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

- Bertin, C., Yang, X., Weston, L. A. (2003). The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere. In *Plant and Soil*. Vol. 256.
- Bhowmik, P. C., Inderjit. (2003). Challenges and opportunities in implementing allelopathy for natural weed management. *Crop Protection*, 22(4), 661–671.
[https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(02\)00242-9](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(02)00242-9)
- Blomstedt, C. K., O'Donnell, N. H., Bjarnholt, N., Neale, A. D., Hamill, J. D., Møller, B. L., Gleadow, R. M. (2016). Metabolic consequences of knocking out UGT85B1, the gene encoding the glucosyltransferase required for synthesis of dhurrin in *Sorghum bicolor* (L. Moench). *Plant and Cell Physiology*, 57(2), 373–386.
<https://doi.org/10.1093/pcp/pcv153>
- Burke, J. J., Chen, J., Burow, G., Mechref, Y., Rosenow, D., Payton, P., Xin, Z., Hayes, C. M. (2013). Leaf dhurrin content is a quantitative measure of the level of pre- and post flowering drought tolerance in sorghum. *Crop Science*, 53(3), 1056–1065.
<https://doi.org/10.2135/cropsci2012.09.0520>
- Cheema, Z.A. and Khaliq, A.(2000). Use of sorghum allelopathic properties to control weeds in irrigated wheat in semi arid region of Punjab. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 79: 105–112
- Cheema, Z.A., Asim, M. and Khaliq, A. (2000). Sorghum allelopathy for weed control in cotton (*Gossypium arboreum* L.). *Int. J. Agric. Biol.*, 2: 37–41
- Cheema, Z.A., Khaliq, A. and Akhtar, S. (2001). Use of sorghum water extract as a natural weed inhibitor in spring mungbean. *Int. J. Agric. Biol.*, 3: 515–518
- Cheema, Z.A., Khaliq, A. and Tariq, M. (2002). Evaluation of concentrated sorghum water extract alone and in combination with reduced rates of three pre-emergence herbicides for weed control in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Int. J. Agric. Biol.*, 4: 549–552
- Cheema ZA, Iqbal, M, Ahmad R. (2002a). Response of wheat varieties and some Rabbi weeds to allelopathic effects of sorghum water extract. *Int. J. Agri. Biol.* 52-55.
- Cheema ZA, Khaliq, A., Tariq, M.(2002b). Evaluation of concentrated Sorgaab alone and in combination with reduced rates of three pre- emergence herbicides for weed control in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Int. J. Aggri. and Biol.* 4(4): 549-552.
- Cheema, Z.A., Khaliq, A. and Tariq, M. (2002c). Evaluation of concentrated sorghum water extract alone and in combination with reduced rates of three pre-emergence herbicides for weed control in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Int. J. Agric. Biol.*, 4: 549–552
- Cheema, Z. A., Farooq, M., Khaliq, A. (2013). Application of allelopathy in crop production: Success story from Pakistan. In *Allelopathy: Current Trends and Future Applications* (pp. 113–143). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-30595-5_6
- Cheng, F., Cheng, Z. (2015). Research progress on the use of plant allelopathy

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

- in agriculture and the physiological and ecological mechanisms of allelopathy. In *Frontiers in Plant Science* Vol. 6, (November). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01020>
- Cook, D., Dayan, F. E., Rimando, A. M., Pan, Z., Duke, S. O., Baerson, S. R. (2006). Molecular and biochemical investigations of sorgoleone biosynthesis. In *Recent Advances in Phytochemistry*. Vol. 40, (C), pp. 157–177. Elsevier Inc. [https://doi.org/10.1016/S0079-9920\(06\)80041-9](https://doi.org/10.1016/S0079-9920(06)80041-9)
- Creelman, R.A. and Mullet. J.E. (1995). Jasmonic acid distribution and action in plants: Regulation during development and response to biotic and abiotic stress. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 92: 4114–4119. USA.
- Curto, G., Dallavalle, E., De Nicola, G. R., Lazzeri, L. (2012). Evaluation of the activity of dhurrin and sorghum towards *Meloidogyne incognita*. *Nematology*, 16 (PART6), 759–769. <https://doi.org/10.1163/156854112X627291>
- Czarnota, M. A., Rimando, A. M., Weston, L. A. (2003). Evaluation of Root Exudates of Seven Sorghum Accessions. In *Journal of Chemical Ecology*. Vol. 29, (9).
- Dahlberg, J., Berenji, J., Sikora, V., Latković, D. (2011). Open Access Assessing sorghum [*Sorghum bicolor* (L) Moench] germplasm for new traits: food, fuels & unique uses.
- Daulay, A. (2003). "Penumbuhan Kantong Penyangga Padi Di Lahan Rawa Lebak Tahun 2003" Pertemuan Nasional Penumbuhan Kantong Penyangga Padi Di Lahan Rawa Lebak 2003, tanggal 25 – 26 Februari 2003, Departemen Pertanian
- Dayan, F. E., Rimando, A. M., Pan, Z., Baerson, S. R., Gimsing, A. L., Duke, S. O. (2010). Sorgoleone. In *Phytochemistry*. Vol. 71, (10), pp. 1032–1039. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.03.011>
- Dicko, M. H., Gruppen, H., Barro, C., Traore, A. S., Van Berkel, W. J. H., Voragen, A. G. J. (2005). Impact of phenolic compounds and related enzymes in sorghum varieties for resistance and susceptibility to biotic and abiotic stresses. *Journal of Chemical Ecology*, 31(11), 2671–2688. <https://doi.org/10.1007/s10886-005-7619-5>
- Dicko, M. H., Gruppen, H., Traore, A. S., Van Berkel, W. J. H., Voragen, A. G. J. (2005). Evaluation of the effect of germination on phenolic compounds and antioxidant activities in sorghum varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(7), 2581–2588. <https://doi.org/10.1021/jf0501847>
- Djamhari, S. (2009a). Penerapan Teknologi Pengelolaan Air di Rawa Lebak sebagai Usaha Peningkatan Indeks Tanam di Kabupaten Muara Enim. *J. Hidrosfir Indonesia* Vol. 4 No. 1.
- Dykes, L., Rooney, L. W., Waniska, R. D., Rooney, W. L. (2005). Phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum grains of varying genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 (17), 6813–6818. <https://doi.org/10.1021/jf050419e>
- Efendi, R., Aqil, M., Pabendon, M.,

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

- Penelitian, B., Serealia, T., Ratulangi, J., Selatan, S. (2013). Evaluasi Genotipe Sorgum Manis (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Produksi Biomas dan Daya Ratan Tinggi.
- Effendi, D. S., Abidin, Z., Prastowo, B. (2014). Model Percepatan Pengembangan Pertanian Lahan Rawa Lebak Berbasis Inovasi. In *Pengembangan Inovasi Pertanian*. Vol. 7, (4).
- Einhellig, F. A. (1994). Allelopathy: Current Status and Future Goals (pp. 1–24). <https://doi.org/10.1021/bk-1995-0582.ch001>.
- Einhellig, F. A. (1996). Interactions involving allelopathy in cropping systems. *Agron J* 88: 886-893 223
- Einhellig, F. A., Eckrich, P. C. (1984). Interactions of Temperature and Ferulic Acid Stress on Grain Sorghum and Soybeans. In *Journal of Chemical Ecology*. Vol. 10, (1).
- Einhellig, F. A., Rasmussen, J. A. (1989). Prior Cropping with Grain Sorghum Inhibits Weeds. In *Journal of Chemical Ecology*. Vol. 15, (3).
- Einhellig FA, Souza IF (1992). Phytotoxicity of sorgoleone found in grain sorghum root exudates. *J Chem Ecol* 18:1–11
- Einhellig, F. A., Rasmussen, J. A., Hejl, A. M., Souza, I. F. (1993). Effects of Root Exudate Sorgoleone on Photosynthesis. In *Journal of Chemical Ecology*. Vol. 19, (2).
- Einhellig, FA. (1999). An integrated view of allelochemicals amid multiple stresses. In Inderjit, Dakshini KMM, Foy, CL. (eds.) Principles and practices in plant ecology allelochemical interactions. pp. 479-494 CRC Press LLC, Boca Raton, USA
- Einhellig, FA. (2002). The physiology of allelochemicals action: clues and views. In Reigosa, MJ. and Pedrol, N. (eds) Allelopathy from molecules to ecosystems, pp. 1-23. Science Publisher Inc. Enfield, NH.
- Elvira, Muhamad, Y., Maiyuslina. (2015). Karakter Agronomi Beberapa Varietas Sorgum pada Lahan Marginal di Aceh Utara. *Jurnal Agrium*, 12(1), 1–4.
- Emendack, Y., Burke, J., Laza, H., Sanchez, J., Hayes, C. (2018). Abiotic stress effects on sorghum leaf dhurrin and soluble sugar contents throughout plant development. *Crop Science*, 58(4), 1706–1716. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.01.0059>
- Emendack, Y. Y., Hayes, C. M., Chopra, R., Sanchez, J., Burow, G., Xin, Z., Burke, J. J. (2017). Early seedling growth characteristics relate to the staygreen trait and Dhurrin levels in Sorghum. *Crop Science*, 57 (1), 404–415. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.04.0284>
- Fahmi, A. (2018). Karakteristik Lahan Rawa. <https://www.researchgate.net/publication/328800813>
- Galuh Puspitasari, Kastono, D., Waluyo, S. (2013). Pertumbuhan dan Hasil Sorgum Manis (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Tanam Baru dan Ratoon pada Jarak Tanam Berbeda.
- Gawronska, H., Golisz, A. (2006). Allelopathy: A Physiological Process with Ecological Implications.
- Gimsing, A. L., Bælum, J., Dayan, F. E.,

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

- Locke, M. A., Sejerø, L. H., Jacobsen, C. S. (2009). Mineralization of the allelochemical sorgoleone in soil. *Chemosphere*, 76(8), 1041–1047. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.04.048>
- Guenzi WD, Kehr WR, McCalla TM. (1964). Water-soluble phytotoxic substances in alfalfa forage: variation, with variety, cutting, year and stage of growth. *Agron J* 56:499–500
- Haryono, Noor, M., Syahbuddin, H., Sarwani, M. (2013). Lahan rawa : Penelitian dan Pengembangan. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian. *IAARD Press*.
- Hasanuzzaman, M. (2020). Agronomic Crops. In *Agronomic Crops*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-0025-1>
- Haskins, F.A., Gorz, H.J., Hill, R.M., Brakke Youngquist, J. (1984). Influence of sample treatment on apparent hydrocyanic acid potential of sorghum leaf tissue. *Crop Sci*. 24:1158- 1163.
- Hejl AM, Koster KL. (2004). The allelochemical sorgoleone inhibits root H⁺-ATPase and water uptake. *J Chem Ecol* 3:2181–2191
- Helmi. (2015). Peningkatan Produktivitas Padi Lahan Rawa Lebak melalui Penggunaan Varietas Unggul Padi Rawa. *Jurnal Pertanian Tropik* Vol.2, 2 (2), 78–92.
- Hussain, I., Singh, N. B., Singh, A., & Singh, H. (2017). Allelopathic potential of sesame plant leachate against *Cyperus rotundus* L. *Annals of Agrarian Science*, 15(1), 141–147. <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2016.10.003>
- Inderjit and K.I. Keating.(1999). Allelopathy: principles, procedures, processes, and promises for biological control. In: Sparks DL (ed). *Adv Agron Vol 67*. San Diego: Acad Pr. P 141-231.
- Inderjit, WeinerJacob. (2001). Plant allelochemical interference or soil chemical ecology In *Perspectives in Plant Ecology*. Vol. 4, (1). <http://www.urbanfischer.de/journals/ppes>
- Inderjit, Nayyar, H. (2002). Shift in allelochemical functioning with selected abiotic stress factors. In Inderjit, Mallik, AU. (eds.), *Chemical Ecology of Plants: Allelopathy in Aquatic and Terrestrial Ecosystems*. pp. 199-218
- Iqbal, J. and Cheema, Z.A. and An, M. (2007). Intercropping of field crops in cotton for the management of purple nutsedge (*Cyperus rotundus* L.). *Plant Soil*, 300: 163–171
- Irianto, G. (2006). Kebijakan pengelolaan air dalam pengembangan lahan rawa lebak. <http://balittra.litbang.pertanian.go.id/prosiding06/Utama-2.pdf>.
- Isnaini, Trikoesoemaningtyas, D. Wirnas. (2014). Pewarisan karakter toleransi aluminium tanaman sorgum manis [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] pada stadia bibit. *J. Agrotek. Trop*. 3:52-57.
- Jabran, K., Farooq, M. (2013). Implications of potential allelopathic crops in agricultural systems. In *Allelopathy: Current Trends and Future Applications* (pp. 349–385). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642->

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

- 30595-5_15
- Jabran, Khawar. (2017a). Allelopathy: Introduction and Concepts (pp. 1–12). https://doi.org/10.1007/978-3-319-53186-1_1
- Jabran, Khawar. (2017b). Sorghum Allelopathy for Weed Control (pp. 65–75). https://doi.org/10.1007/978-3-319-53186-1_8
- Jabran, Khawar, Mahajan, G., Sardana, V., Chauhan, B. S. (2015). Allelopathy for weed control in agricultural systems. In *Crop Protection*. Vol. 72, pp. (57–65). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.03.004>.
- Jahangeer, A., (2011). Response of maize (*Zea mays* L.) to foliar application of three plant water extracts. MSc Thesis, Department of Agronomy, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan
- Jamil, M., Cheema, Z.A., Mushtaq, M.N., Farooq, M. and Cheema, M.A. (2009). Alternative control of wild oat and canary grass in wheat fields by allelopathic plant water extracts. *Agron. Sustain. Dev.*, 29: 475–482
- Khaliq A, Aslam Z and Cheema, ZA. 2002). Efficacy of different weed management strategies in mungbean (*Vigna radiata* L.). *International Journal of Agriculture & Biology* 2, 237-
- Khaliq, A., A. Matloob, M.S. Irshad, A. Tanveer and M.S.I. Zamir, (2010). Organic weed management in maize through integration of allelopathic crop residues. *Pak. J. Weed Sci. Res.*, 16: 409–420
- Khaliq, A., Matloob, A., Mahmood, S., Wahid, A. (2013). Seed Pre-Treatments Help Improve Maize Performance Under Sorghum Allelopathic Stress. *Journal of Crop Improvement*, 27(5), 586–605. <https://doi.org/10.1080/15427528.2013.812051>
- Khodijah, N. (2015). Hubungan antara Perubahan Iklim dan Produksi Tanaman Padi di Lahan Rawa Sumatera Selatan. *Enviagro, Jurnal Pertanian Dan Lingkungan*, 8(2), 83–91. <http://kalsel.litbang>.
- Kurniawan, W., Has, H., Rahman. (2017). Evaluasi Awal Efektivitas Biochar pada Produktivitas Sorgum BMR di Lahan Rawa yang Dipanen Umur 75 Hari. *Seminar Nasional Peternakan 3 tahun 2017 Universitas Hasanuddin Makassar*.
- Lehle FR, Putnam AR. 1984. Allelopathic potential of sorghum (*Sorghum bicolor*): isolation of seed germination inhibitors. *J Chem Ecol* 10:693
- Leiss, K.A., Y.H. Choi, R. Verpoorte, and G.L.K. Peter. (2011). An overview of NMR-based metabolomics to identify secondary plant compounds involved in host plant resistance. *Phytochem Rev.* 10:205-216.
- Lestari, T., Trikoesoemaningtyas, S.W. Ardie, D. Sopandie. (2017). Peranan fosfor dalam meningkatkan toleransi tanaman sorgum terhadap cekaman aluminium. *J. Agron. Indonesia* 45:43-48.
- Maas, A. (2002). Lahan rawa sebagai lahan pertanian masa depan. Prosiding Seminar Nasional Pertanian Lahan Kering dan Lahan Rawa. Banjarbaru, 18–19 Desember 2002. *Pusat Penelitian Sosial Ekonomi Pertanian*, Bogor. hlm. 9-19.

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

- Maqbool, N., Wahid, A., Farooq, M., Cheema, Z. A., Siddique, K. H. (2013). Allelopathy and abiotic stress interaction in crop plants. In *Allelopathy: Current Trends and Future Applications* (pp. 451–468). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-30595-5_19
- Mariska, I. (2013). Metabolit Sekunder: Jalur pembentukan dan kegunaannya. <http://biogen.litbang.deptan.go.id/index.php/2013/08/metabolit-sekunder-jalur-pembentukan-dan-kegunaannya>.
- Meliala, M. G., , T., Sopandie, D. D. (2017). Keragaan dan Kemampuan Meratun Lima Genotipe Sorgum. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 45(2), 154. <https://doi.org/10.24831/jai.v45i2.12391>
- Momongan, J. D., Trikoesoemaningtyas, T., Wirnas, D., Sopandie, D. D. (2019). Potensi Hasil dan Toleransi Galur-galur Inbrida Sorgum pada Tanah dengan Hara Fosfor Rendah. *Jurnal Agronomi Indonesia*. 47(1), 39–46. <https://doi.org/10.24831/jai.v47i1.22629>.
- Muliani, Y.(2013). Karakter biokimia tanaman kedelai yang berperan dalam resistensi terhadap lalat bibit *Ophiomyia phaseoli* Tryon. *CEFARS: Jurnal Agribisnis dan Pengembangan Wilayah* 4(2):31-39.
- Nabavi, S. M., Šamec, D., Tomczyk, M., Milella, L., Russo, D., Habtemariam, S., Suntar, I., Rastrelli, L., Daglia, M., Xiao, J., Giampieri, F., Battino, M., Sobarzo-Sanchez, E., Nabavi, S. F., Yousefi, B., Jeandet, P., Xu, S., Shirooie, S. (2020). Flavonoid biosynthetic pathways in plants: Versatile targets for metabolic engineering. In *Biotechnology Advances* (Vol. 38). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.11.005>
- Namdeo, A.G. (2007). Review article: plant cell elicitation for production of secondary metabolites. *Pharmacognosy Reviews* 1(1):69-79.
- Narwal, S. S., Haouala, R. (2013). Role of allelopathy in weed management for sustainable agriculture. In *Allelopathy: Current Trends and Future Applications* (pp. 217–249). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-30595-5_10
- Netzly DH, Butler LG. (1986). Roots of sorghum exudates hydrophobic droplets containing biologically active components. *Crop Sci* 26:775–778
- Nicollier, G. F., Pope, D. F., Thompson, A. C. (1983). Biological Activity of Dhurrin and Other Compounds from Johnson Grass (*Sorghum halepense*). In *J. Agric. Food Chem.*
- Nielsen, L. J., Stuart, P., Pičmanová, M., Rasmussen, S., Olsen, C. E., Harholt, J., Møller, B. L., Bjarnholt, N. (2016). Dhurrin metabolism in the developing grain of *Sorghum bicolor* (L.) Moench investigated by metabolite profiling and novel clustering analyses of time-resolved transcriptomic data. In *BMC Genomics*. Vol. 17, (1). *BioMed Central Ltd.* <https://doi.org/10.1186/s12864-016-3360-4>
- Nimbal, C. I., Pedersen, J. F., Yerkes, C. N., Weston, L. A., Weller, S. C. (1996).

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

- Phytotoxicity and Distribution of Sorgoleone in Grain Sorghum Germplasm.
- Nimbal, C. I., Yerkes, C. N., Weston, L. A., Weller, S. C. (1996). Herbicidal Activity and Site of Action of the Natural Product Sorgoleone 1.
- Nofiani, R. (2008). Artikel ulas balik: Urgensi dan mekanisme biosintesis metabolit sekunder mikroba laut. *Jurnal Natur Indonesia* 10(2):120-125.
- Nornasuha, Y., Ismail. (2017). Sustainable Weed Management Using Allelopathic Approach. In *Malays. Appl. Biol.* Vol. 46, (2).
- Pabendon, M., Aqil, M., Mas'ud, S. (2012). Kajian Sumber Bahan Bakar Nabati Berbasis Sorgum Manis *Iptek Tanaman Pangan Vol 7 No 2*.
- Pabendon, M. B., Mas'ud, S., Sarungallo, R. S., Nur, A. (2012). Penampilan Fenotipik dan Stabilitas Sorgum Manis untuk Bahan Baku Bioetanol. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*.
- Pujiharti, Y. (2017). Peluang Peningkatan Produksi Padi di Lahan Rawa Lebak Lampung. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 36 (1), 13–20.
<https://doi.org/10.21082/jp3.v36n1.2017.p13-20>
- Purnomohadi, M. (2006). Potensi Penggunaan Beberapa Varietas Sorgum Manis (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Sebagai Tanaman Pakan. *Berk. Penel. Hayati*.
- Puspitasari, W., S. Human, D. Wirnas, Trikoesoemaningtyas. (2012). Evaluating genetic variability of sorghum mutant lines tolerant to acid soil. *Atom Indonesia* 38:83-88.
- Rasmussen, J. A., Hejl, A. M., Einhellig, F. A., Thomas, J. A. (1992). Sorgoleone from root exudate inhibits mitochondrial functions. *Journal of Chemical Ecology*, 18, 197–207.
- Rehman, A., Z.A. Cheema, A. Khaliq, M. Arshad and S. Mohsan, (2010). Application of sorghum, sunflower and rice water extract combinations helps in reducing herbicide dose for weed management in rice. *Int. J. Agric. Biol.*, 12: 901–906
- Ridho Djafar, Z. (2015). Pengembangan dan Pemanfaatan Potensi Lahan Rawa untuk Meningkatkan Kesejahteraan Masyarakat. In *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal*.
- Rosati, V. C., Quinn, A. A., Fromhold, S. M., Gleadow, R., Blomstedt, C. K. (2019). Investigation into the role of DNA methylation in cyanogenesis in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Plant Growth Regulation*. <https://doi.org/10.1007/s10725-019-00489-z>
- Ruminta, Wahyudin, A., Ramdani, A. (2018). Respon Hasil Tanaman Sorgum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Terhadap Pupuk Organik Cair dan Jarak Tanam di Jatinangor Jawa Barat. Vol. 22, (2).
- Saniaty, A., Trikoesoemaningtyas, Wirnas, D. (2016). Keragaan Karakter Morfologi dan Agronomi Galur-Galur Sorgum pada Dua Lingkungan Berbeda. *J. Agron. Indonesia*, 44(3), 271–278.
- Sene M, Gallet C, Dore T. (2001). Phenolic compounds in a Sahelian sorghum

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

- (*Sorghum bicolor*) genotype (CE145-66) and associated soils. *J Chem Ecol* 27:81–92
- Setyorini, S. D., Yusnawan, E. (2016). Peningkatan Kandungan Metabolit Sekunder Tanaman Aneka Kacang sebagai Respon Cekaman Biotik.
- Sherly, A. P., Sunyoto, Kamal, M., Hidayat, K. F. (2015). Pengaruh Kerapatan Tanaman Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Beberapa Varietas Sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). In *Jurnal Agrotek Tropika*. Vol. 3, (1).
- Silalahi, M. (2017). Boesenbergia rotunda (L.). Mansfeld: Manfaat dan Metabolit Sekundernya. In *Jurnal EduMatSains*. Vol. 1, (2).
- Singh, H. P., Batish, D. R., Kohli, R. K. (1999). Autotoxicity: Concept, organisms, and ecological significance. In *Critical Reviews in Plant Sciences*. Vol. 18, (6), pp. 757–772). <https://doi.org/10.1080/07352689991309478>
- Singh, H. P., Batish, D. R., Kohli, R. K. (2001). Allelopathy in agroecosystems: An overview. In *Journal of Crop Production*. Vol. 4, (2), pp. 1–41). https://doi.org/10.1300/J144v04n02_01
- Singh, H. P., Batish, D. R., Kohli, R. K. (2003). Allelopathic interactions and allelochemicals: New possibilities for sustainable weed management. In *Critical Reviews in Plant Sciences* Vol. 22, (3–4), pp. 239–311. CRC Press LLC. <https://doi.org/10.1080/713610858>
- Sirappa, M. P. (2003). Prospek Pengembangan Sorgum di Indonesia sebagai Komoditas Alternatif untuk Pangan, Pakan, dan Industri. *Jurnal Litbang Pertanian*, 22(4).
- Suarni, S. (2017). Peranan Sifat Fisikokimia Sorgum dalam Diversifikasi Pangan dan Industri serta Prospek Pengembangannya. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 35(3), 99. <https://doi.org/10.21082/jp3.v35n3.2016.p99-110>.
- Subagio, H., Aqil, M. (2013). Pengembangan Produksi Sorgum di Indonesia. In *Seminar Nasional Inovasi Teknologi Pertanian*.
- Sudana, W. (2005). Potensi dan Prospek Lahan Rawa Sebagai Sumber Produksi Pertanian. *Analisis Kebijakan Pertanian*, 3(2), 141–151.
- Sudaryanto, D. (2009). Peningkatan Produksi Padi di Lahan Lebak Sebagai Alternatif dalam Pengembangan Lahan Pertanian ke Luar Pulau Jawa *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia* Vol. 11 No. 1.
- Suminar, R., S., Purnamawati, D. H. (2018). Pertumbuhan dan Hasil Sorgum di Tanah Latosol dengan Aplikasi Dosis Pupuk Nitrogen dan Fosfor yang Berbeda. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 45(3), 271. <https://doi.org/10.24831/jai.v45i3.14515>
- Sungkono, Trikoesoemanigtyas, D. Wirnas, D. Sopandie, S. Human dan M.A. Yudiarto. (2009). Pendugaan parameter genetik dan seleksi galur mutan Sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) di tanah masam. *J. Agron. Indonesia* 37 (3):220-225.
- Suparwoto, S., Waluyo, W. (2019). Budidaya dan Adaptasi Varietas Unggul Baru Padi Pada Lahan Rawa Lebak Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian*

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

- dan Pengembangan Pertanian, 38(1), 13–22.
<https://doi.org/10.21082/jp3.v38n1.2019.p13-22>.
- Suprianto, H., E. Ravaie, S.G. Irianto, R.H. Susanto, B. Schultz, F.X. Suryadi, A.V.D. Eelaart. (2010). Land and water management of tidal lowlands: Experiences in Telang and Saleh, South Sumatra. *Irrig. Drain.* 59:317-335.
- Suryana. (2016). Potensi Peluang Pengembangan Usaha Tani Terpadu Berbasis Kawasan di Lahan Rawa. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 35(2), 57–68.
<https://doi.org/10.21082/jp3.v35n2.2016.p57-68>
- Susilawati, A., Nursyamsi, D., Syakir, M. (2016). Optimalisasi Penggunaan Lahan Rawa Pasang Surut Mendukung Swasembada Pangan Nasional. In *Jurnal Sumberdaya Lahan* Vol. 10 No. 1.
- Susilowati, H. S., Saliem, P. H., (2014). Perdagangan Sorgum di Pasar Dunia dan Asia serta Prospek Pengembangannya di Indonesia. *Inovasi Teknologi dan Pengembangan*.
- Svensson, L., Sekwati-Monang, B., Lutz, D. L., Schieber, R., Gänzle, M. G. (2010). Phenolic acids and flavonoids in nonfermented and fermented red sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(16), 9214–9220.
<https://doi.org/10.1021/jf101504v>
- Tang, C.-S., Cai, W.-F., Kohl, K., Nishimoto, R. K. (1994). *Plant Stress and Allelopathy* (pp. 142–157).
<https://doi.org/10.1021/bk-1995-0582.ch011>
- Taylor, J. R. N., Belton, P. S., Beta, T., Duodu, K. G. (2014). Increasing the utilisation of sorghum, millets and pseudocereals: Developments in the science of their phenolic phytochemicals, biofortification and protein functionality. In *Journal of Cereal Science*. Vol. 59, (3), pp. 257–275. Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.10.009>
- Tesso, T.T., L.E. Claflin, and M.R. Tuinstra. (2005). Analysis of stalk rot resistance and genetic diversity among drought tolerant sorghum genotypes. *Crop Sci.* 45: 645-652.
- Tibugari, H., Chiduza, C., Mashingaidze, A. B., Mabasa, S. (2019). Quantification of sorgoleone in sorghum accessions from eight southern African countries. *South African Journal of Plant and Soil*, 36(1), 41–50.
<https://doi.org/10.1080/02571862.2018.1469794>
- Tibugari, H., Manyeruke, N., Mafere, G., Chakavarika, M., Nyamuzuwe, L., Marumahoko, P., Mandumbu, R. (2019). Allelopathic effect of stressing sorghum on weed growth. *Cogent Biology*, 5(1).
<https://doi.org/10.1080/23312025.2019.1684865>
- Tongma, S., Kobayashi, K., Usui, K. (2001). Allelopathic activity of Mexican sunflower [*Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray] in soil under natural field conditions and different moisture conditions. *Weed Biology and Management*, 1, 115–119.
- Trikoesoemaningtyas, D. Wirnas, E.L. Saragih, E.P. Rini, M. Sari, S.

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

- Marwiyah, D. Sopandie. (2017). Kendali genetik karakter morfologi dan agronomi pada tiga populasi sorgum [Sorghum bicolor (L.) Moench.]. *J. Agron. Indonesia* 45:285-291.
- Uddin, M. R., Min, S. K., Kim, J. D., Park, S. U., Pyon, J. Y. (2012). Sorgoleone, a sorghum root exudate: Algicidal activity and acute toxicity to the ricefish *Oryzias latipes*. *Aquatic Botany*, 98(1), 40–44. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2011.12.008>
- Uddin, M. R., Thwe, A. A., Kim, Y. B., Park, W. T., Chae, S. C., Park, S. U. (2013). Effects of Jasmonates on Sorgoleone Accumulation and Expression of Genes for Sorgoleone Biosynthesis in Sorghum Roots. *Journal of Chemical Ecology*, 39(6), 712–722. <https://doi.org/10.1007/s10886-013-0299-7>
- Uddin, R., Won, O. J., Pyon, J. Y., (2010). Herbicidal Effects and Crop Selectivity of Sorgoleone, a Sorghum Root Exudate under Greenhouse and Field Conditions Sorgoleone. In *Kor. J. Weed Sci.* Vol. 30 (4).
- Umakanth, A. V., Kumar, A. A., Vermerris, W., Tonapi, V. A. (2018). Sweet sorghum for biofuel industry. In *Breeding Sorghum for Diverse End Uses* (pp. 255–270). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101879-8.00016-4>
- Wazir, I., M. Sadiq, M.S. Baloch, I.U. Awan, E.A. Khan, I.H. Shah, M.A. Nadim, A.A. Khakwani and I. Bakhsh,(2011). Application of bio- herbicide alternatives for chemical weed control in rice. *Pak. J. Weed Sci. Res.*, 17: 245–252
- Weston, L. A. (1996). Utilization of Allelopathy for Weed Management in Agroecosystems.
- Weston, L. A., Harmon, R., Mueller, S. (1989). Allelopathic Potential of Sorghum Sudangrass Hybrid (SUDEX) 1. In *Journal of Chemical Ecology*. Vol. 15, (6).
- Weston, L.A. S. Duke D. O, (2003). Weed and crop allelopathy. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 22: 367–389
- Won, O. J., Uddin, M. R., Park, K. W., Pyon, J. Y., Park, S. U. (2013). Phenolic compounds in sorghum leaf extracts and their effects on weed control. <https://www.researchgate.net/publication/n/235008797>
- Yasin, M. (2013). Kajian Pengembangan Tanaman Jagung pada Lahan Rawa Lebak di Kalimantan Selatan. In *Seminar Nasional Serealia*.
- Zegada-Lizarazu W, Monti. A. (2012). Are we ready to cultivate sweet sorghum as a bioenergy feedstock A review on field management practices. *Biomass Bioenergy* 2012;40:1–12 <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.01.048>.
- Zulhilmi, S., Surya, N. W. (2012). Pertumbuhan dan Uji Kualitatif Kandungan Metabolit Sekunder Kalus Gatang (*Spilanthes acmella* Murr.) dengan Penambahan PEG untuk Menginduksi Cekaman Kekeringan. In *Jurnal Biologi Universitas Andalas (J. Bio. UA.)* Vol. 1, (1).

Tabel 1. Alelokimia pada sorgum yang telah dilaporkan

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

Alelokimia	Pustaka
Sorgoleone	Netzly dan Butler (1986), Czarnota <i>et al.</i> , (2003), Jabran dan Farooq (2013a), Tibugari, Chiduza, <i>et al.</i> , (2019), Uddin, <i>et al.</i> , (2013), Einhellig <i>et al.</i> , (1993), Cook <i>et al.</i> , (2006), Gimsing <i>et al.</i> , (2009), Nimbale, Yerkes, <i>et al.</i> , (1996), Dayan <i>et al.</i> , (2010), Jabran, (2017a), Alsaadawi dan Dayan (2009), Bajwa <i>et al.</i> , (2013a), Maqbool <i>et al.</i> , (2013), Jabran, (2017b), Rasmussen <i>et al.</i> , (1992), Nimbale <i>et al.</i> , (1996).
5-ethoxysorgoleone, 2,5-dimethoxysorgoleone	Czarnota <i>et al.</i> , (2003)
Sorgoleone (2-hydroxy-5-methoxy-3-[(8Z,11OZ)-80,110,140-pentadecatriene]-p-benzoquinone)	Netzly dan Butler (1986), Nimbale <i>et al.</i> , (1996)
Dhurrin, p-hydroxybenzaldehyde	Haskins dan Gorz (1984), Jabran dan Farooq (2013a), Bajwa <i>et al.</i> , (2013a), Maqbool <i>et al.</i> , (2013), Nimbale <i>et al.</i> , (1996).
Vanillic acid, p-hydroxybenzoic acid, p-hydroxybenzaldehyde, p-coumaric acid, Ferulic acid	Sene <i>et al.</i> , (2001), Jabran dan Farooq (2013a), Uddin <i>et al.</i> , (2010).

Tabel 2. Pengaruh alelopati dari alelokimia sorgum pada gulma dan tanaman

Alelokimia	Sasaran gulma atau tanaman	Pengaruhnya pada	Pustaka
Sorgoleone	<i>A. retroflexus</i> , <i>E. crus-galli</i> , <i>Setaria viridis</i> (L.) P. Beauv., <i>Abutilon theophrasti</i> Medik., <i>Datura stramonium</i> L., <i>D. sanguinalis</i>	Penghambatan pertumbuhan	Einhellig dan Souza (1992)
Sorgoleone	Jagung, kacang polong, kedelai	Penghambatan dalam fotosintesis dan fungsi mitokondria	Einhellig <i>et al.</i> , (1993); Rasmussen <i>et al.</i> , (1992)
Sorgoleone	Kedelai, jagung	Mengurangi penyerapan air dan aktivitas H ⁺ -ATPase di akar	Hejl dan Koster (2004)
Sorgoleon, dhurrin, vanillic acid, juglone, sorgolactone	Gandum, jagung	Pengembangan dinding sel, stimulasi sintesis protein dan enzim aktivasi anti-oksidaatif	Netzley dan Butler (1986), Nimbale <i>et al.</i> , (1996), Jahangeer (2011)

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

Tabel 3. Pengaruh ekstrak aleopatik sorgum terhadap gulma dan hasil tanaman

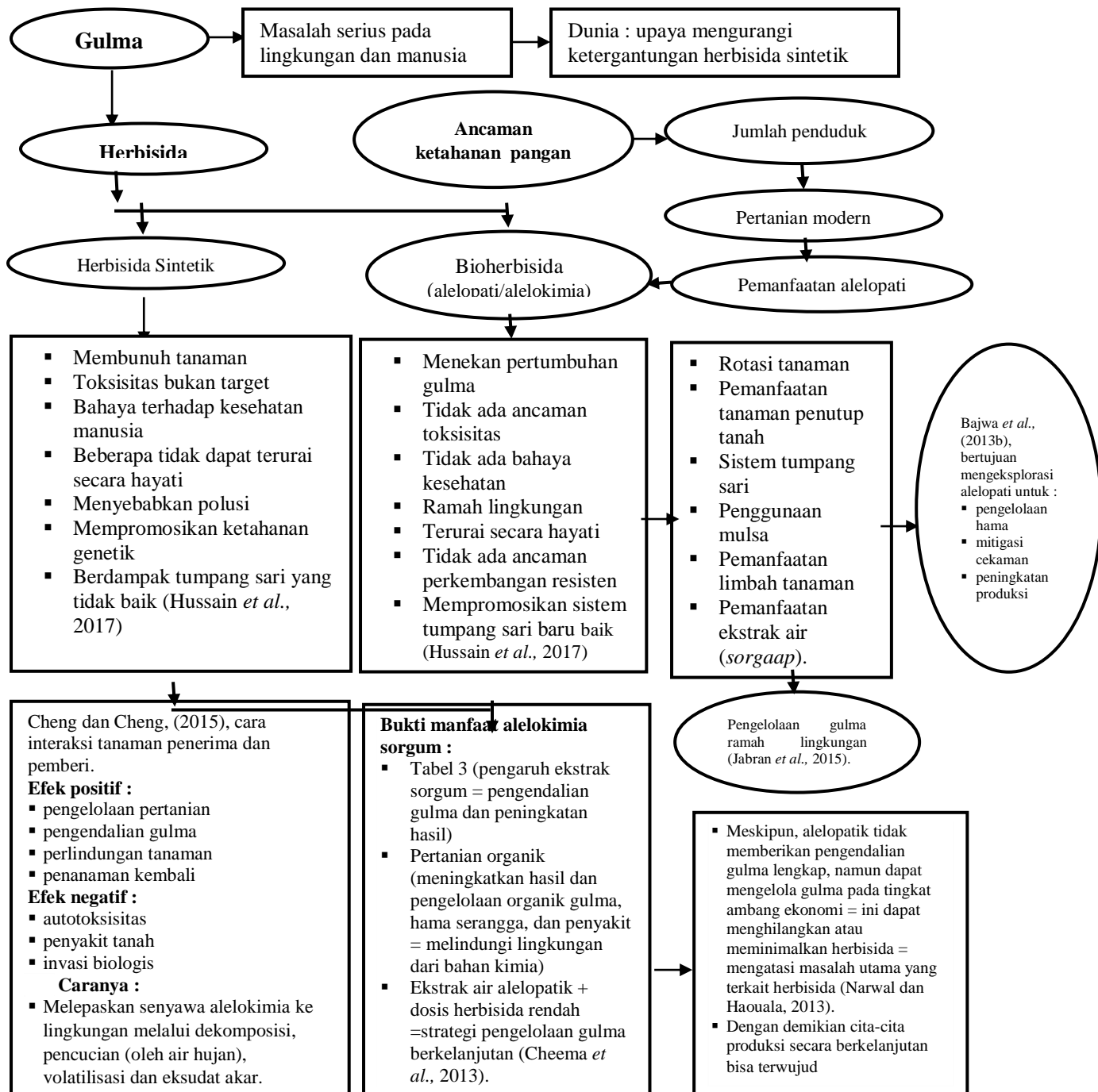
Ekstrak aleopati	Tanaman	Gulma yang dikendalikan	Pengendalian gulma		Meningkatkan hasil dibanding kontrol (%)	Pustaka
			Menurunkan kepadatan gulma (%)	Menurunkan bobot gulma kering (%)		
Sorgum	Gandum	<i>Fumaria indica, Phalaris minor, Rumex dentates, Chenopodium album</i>	21,6-44,2	35,4-49,0	11,0-20,0	Cheema dan Khaliq (2000)
	Kapas	<i>Trianthema portulacastrum, Cynodon dactylon, Cyperus rotundus</i>	47,0	29,0-40,1	17,7-59,0	Cheema <i>et al.</i> , (2002)
	Kacang hijau	<i>Cyperus rotundus, Chenopodium album, Convolvulus arvensis</i>	17,5-31,6	23,7-59,6	4,0-17,7	Cheema <i>et al.</i> , (2001)
	Padi	<i>Echinochloa colonum, Cyperus rotundus, Cyperus iria</i>		40,4	12,5	Wazir <i>et al.</i> (2011)
Sorgum + bunga matahari		<i>Avena fatua, Phalaris minor</i>		10,0-62,0	18,55-62,0	Jamil <i>et al.</i> , (2009)
Sorgum + kubis						
Sorgum + tembakau						
Sorgum	Gandum	<i>Phalaris minor, Chenopodium album</i>		48,0-56,0	16,0-17,0	Cheema dan Khaliq (2000)
Sorgum	Kapas	<i>Trianthema portulacastrum, Convolvulus arvensis, Cynodon dactylon, Cyperus rotundus</i>		5,0-96,6	69,2-119,3	Cheema <i>et al.</i> , (2000)
Bunga matahari + padi + kubis	Jagung	<i>Trianthema portulacastrum</i>		60,1	41,0	Khaliq <i>et al.</i> , (2010)
Sorgum + kapas	Jagung	<i>Trianthema portulacastrum, Convolvulus arvensis</i>		92,0	23,7	Iqbal <i>et al.</i> , (2007)
Sorgum	Jagung				22,0-42,0	Jahangeer (2011)
Sorgum	Kapas	<i>Trianthema portulacastrum</i>	47,0	29,0	45,0	Cheema <i>et al.</i> , (2002c)
Sorgum	Gandum	<i>Fumaria indica, Phalaris minor</i>	21,6	35,5	11,0	Cheema dan Khaliq, (2000)

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215

Tabel 3. Lanjutan.....

Ekstrak alelopati	Tanaman	Gulma yang dikendalikan	Pengendalian gulma		Meningkatkan hasil dibanding kontrol (%)	Pustaka
			Menurunkan kepadatan gulma (%)	Menurunkan bobot gulma kering (%)		
Sorgum	Gandum	<i>Rumexdentatus</i> <i>Chenopodium album</i>	23,1	38,7	15,0	Cheema dan Khaliq, (2000)
Sorgum	Kacang hijau	<i>Convolvulus arvensis</i> <i>Cyperus rotundus</i> <i>Chenopodium album</i>	17,54	23,73	8,23	Cheema <i>et al.</i> , (2002c)
Sorgum	Kapas	<i>Convolvulus arvensis</i> <i>Trianthema portulacastrum</i>		32,6	17,7	Cheema <i>et al.</i> , (2002a, 200b)
Sorgum	Kapas	<i>C. rotundus</i> . <i>Cynodon dactylon</i>		35,2	59,0	
Sorgum + bunga matahari + padi	Padi	<i>Dactyloctenium aegyptium</i> <i>Echinochloa crusgalli</i> <i>Cyperus iria</i>	Menurunkan <i>Echinochloa</i> 18 %, <i>Cyperus</i> 10% dan <i>Dactyloctenium</i> 17%		29	Rahman <i>et al.</i> , 2010
Sorgum	Padi	<i>Dactyloctenium aegyptium</i> <i>Cyperus rotundus</i> L. <i>Cyperus iria</i> <i>Echinochloa crusgalli</i> <i>Echinochloa colonum</i>		40,45	12,5	Wazir <i>et al.</i> , 2011
Sorgum	Kacang hijau	<i>Convolvulus arvensis</i> <i>Cyperus rotundus</i> <i>Chenopodium album</i>		59,62	4	Khaliq <i>et al.</i> , 2002
Sorgum	Gandum	<i>Phalaris minor</i> <i>Avena fatua</i>		<i>Phalaris minor</i> 23-41% <i>Avena fatua</i> 21-41%	39	Jamil <i>et al.</i> , 2009
Sorgum	Gandum	<i>Phalaris minor</i> <i>Avena fatua</i>		<i>Phalaris minor</i> 13-28% <i>Avena fatua</i> 28-32%	47,5	Jamil <i>et al.</i> , 2009
Sorgum	Gandum	<i>Phalaris minor</i> <i>Avena fatua</i>		<i>Phalaris minor</i> 30-35% <i>Avena fatua</i> 24-39%	62	Jamil <i>et al.</i> , 2009

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.1215



Gambar 1. Diagram alir pemanfaatan alelopati untuk produksi tanaman berkelanjutan