

ULASAN

Perkembangan Terkini Kajian Alelopati

Current Research Status of Allelopathy

AHMAD JUNAEDI^{1,2*}, MUHAMMAD AHMAD CHOZIN¹, KWANGHO KIM²

¹Departemen Agronomi dan Hortikultura, Faperta, Institut Pertanian Bogor, Kampus Darmaga, Bogor 16680

²Department of Crop Science, Graduate School of Life and Environment Sciences, Konkuk University, 1 Hwayang-dong, Gwangjin-gu, Seoul 143701, Korea

Diterima 7 April 2005/Disetujui 27 April 2006

The term of allelopathy refers to chemical interactions (inhibitory or stimulatory) between plants, between plants and microorganisms, and between microorganisms. The wealth of information on the processes, procedures, and practices of allelopathy has contributed to understanding this field of science. Recently, researches of allelopathy have been conducted in laboratory, greenhouse, and field with multifaceted standpoint in some concerning area: (i) allelochemicals identifications and screening test; (ii) ecological and physiological aspects of allelopathy; (iii) genetic studies and the possibilities of using plant breeding or genetic manipulation to enhance allelopathic varieties; (iv) the use of allelopathic potential in the biological control, including as natural pesticide, of weeds and plant diseases as eco-friendly approach for sustainable agriculture scheme.

Key words: Allelochemicals, biological control, sustainable agriculture

Istilah alelopati (*allelopathy*) pertama kali dikemukakan oleh Hans Molisch tahun 1937. Alelopati berasal dari kata *allelon* (saling) dan *pathos* (menderita). Menurut Molisch, alelopati meliputi interaksi biokimiawi secara timbal balik, yaitu yang bersifat penghambatan maupun perangsangan antara semua jenis tumbuhan termasuk mikroorganisme. Tahun 1974, Rice memberikan batasan alelopati sebagai keadaan merugikan yang dialami tumbuhan akibat tumbuhan lain, termasuk mikroorganisme, melalui produksi senyawa kimia yang dilepaskan ke lingkungannya. Batasan ini kemudian terus diverifikasi dengan berbagai penelitian. Tahun 1984, Rice melaporkan bahwa senyawa organik yang bersifat menghambat pada suatu tingkat konsentrasi, ternyata dapat memberikan pengaruh rangsangan pada tingkat konsentrasi yang lain. Sejak tahun tersebut, Rice dan sebagian besar ilmuwan yang menekuni alelopati merujuk terhadap batasan yang dikemukakan oleh Molisch. Alelopati kemudian didefinisikan sebagai pengaruh langsung ataupun tidak langsung dari suatu tumbuhan terhadap yang lainnya, termasuk mikroorganisme, baik yang bersifat positif/perangsangan, maupun negatif/penghambatan terhadap pertumbuhan, melalui pelepasan senyawa kimia ke lingkungannya (Rice 1995; Inderjit & Keating 1999; Singh *et al.* 2003).

Selain alelopati, terdapat pula hubungan antar tumbuhan yang disebut persaingan atau kompetisi. Perbedaan alelopati dari kompetisi, yaitu pada alelopati terdapat senyawa kimia yang dikeluarkan ke lingkungan, sedangkan pada kompetisi

terjadi pengambilan dan pengurangan beberapa faktor tumbuh (air, hara, cahaya) dari lingkungan. Fenomena alelopati dan kompetisi pada kenyataannya dalam ekosistem sulit dipisahkan sehingga Muller pada 1969 memperkenalkan istilah "interferensi" (*interference*) yang mencakup batasan keduanya (Rice 1995; Qasem & Foy 2001).

Saat ini kajian mengenai alelopati sangat berkembang dan menjadi bagian minat keilmuan tersendiri. Para ilmuwan peminat kajian alelopati tahun 1994 telah membentuk suatu asosiasi berskala internasional yang bernama *International Allelopathy Society* (IAS), yang berperan memfasilitasi komunikasi, publikasi, dan kerjasama di antara para ilmuwan. Ulasan ini memaparkan perkembangan terkini kajian alelopati yang dihimpun dari berbagai sumber publikasi. Tulisan ini diawali dengan informasi mengenai sumber alelopati dalam agroekosistem, dilanjutkan dengan keragaman potensi alelopati, lingkup bidang kajian alelopati, serta penerapan alelopati dalam isu pertanian berkelanjutan.

Sumber Alelopati dalam Agroekosistem

Pada suatu agroekosistem, senyawa alelopati kemungkinan dapat dihasilkan oleh gulma, tanaman pangan, dan hortikultura (semusim), tanaman berkayu, residu dari tanaman dan gulma, serta mikroorganisme. Alelopati dari tanaman dan gulma dapat dikeluarkan dalam bentuk eksudat dari akar dan serbuk sari, luruhan organ (*decomposition*), senyawa yang menguap (*volatile*) dari daun, batang, dan akar, serta melalui pencucian (*leaching*) dari organ bagian luar (Reigosa *et al.* 2000; Qasem & Foy 2001).

*Penulis untuk korespondensi, Tel./Fax. +62-251-629353
E-mail: junaedi_agr@yahoo.com

Alelopati dari Gulma. Banyak spesies gulma menimbulkan kerugian dalam budi daya tanaman yang berakibat pada berkurangnya jumlah dan kualitas hasil panen. Rice (1984) mencatat 59 spesies gulma yang memiliki potensi alelopati. Inderjit dan Keating (1999) melaporkan hingga 112 spesies, bahkan Qasem dan Foy (2001) menambahkannya hingga 239 spesies. Selain itu, Qasem dan Foy (2001) mencatat 64 spesies gulma yang bersifat alelopati terhadap gulma lain, 25 spesies gulma yang bersifat *autotoxic/autopathy*, dan 51 spesies gulma aktif sebagai antifungi atau antibakteri. Jenis gulma yang memberikan pengaruh negatif alelopati pada tanaman berkontribusi pada berkurangnya jumlah dan kualitas panen tanaman melalui alelopati dan juga kompetisi sarana tumbuh.

Alelopati dari Tanaman Semusim. Alelopati dari tanaman budi daya dapat menimbulkan efek negatif pada tanaman budi daya yang lain maupun gulma (Rice 1995). Senyawa alelopati yang dikeluarkan tanaman dapat berdampak pada tanaman yang ditanam berikutnya bahkan juga bisa bersifat alelopati pada tanaman itu sendiri atau *autotoxicity* (Putnam & Weston 1986). Inderjit dan Keating (1999) melaporkan 41 spesies tanaman semusim mengeluarkan senyawa alelopati, termasuk padi, jagung, kedelai, buncis, dan ubi jalar. Batish *et al.* (2001) melaporkan 56 spesies tanaman semusim bersifat alelopati terhadap tanaman yang lain, 56 spesies tanaman semusim bersifat alelopati terhadap gulma, dan 31 spesies tanaman semusim bersifat *autotoxic*. Adanya senyawa alelopati dari tanaman dapat memberikan dampak yang baik jika senyawa alelopati tersebut menyebabkan penekanan terhadap pertumbuhan gulma, patogen, ataupun hama. Namun demikian, keadaan ini perlu mendapatkan perhatian sebagai pertimbangan pola pertanaman ganda dan menetapkan pola pergiliran tanaman.

Alelopati dari Tanaman Berkayu. Alelopati dari tanaman berkayu telah dilaporkan oleh Elakovich dan Wooten (1995) berdasarkan studi literatur hingga 1994. Tanaman berkayu yang dilaporkan bersifat alelopati antara lain: *Acasia* spp., *Albizia lebbek*, *Eucalyptus* spp., *Grewia optiva*, *Glirycidia sepium*, *Leucaena leucocephala*, *Moringa oleifera*, *Populus deltoides*, *Abies balsamea*, *Picea mariana*, *Pinus divaricata*, *P. resinosa*, dan *Thuja occidentalis* (Rice 1995; Gill & Prasad 2000; Reigosa *et al.* 2000; Singh *et al.* 2001). Adanya senyawa alelopati dari tanaman berkayu dapat dimanfaatkan dalam pertanaman sistem wanatani (*agroforestry*) serta dalam pengendalian gulma, patogen, ataupun hama. Alelopati dalam sistem wanatani dapat dimanfaatkan dalam strategi pengurangan keragaman vegetasi di bawah tegakan.

Alelopati dari Residu Tanaman dan Gulma. Residu tanaman dan gulma dilaporkan menimbulkan efek alelopati pada spesies yang ditanam kemudian. Inderjit dan Keating (1999) melaporkan pengaruh alelopati dari residu tanaman jagung, buah persik (*Prunus persica*), gandum hitam (*Secale cereale*), gandum (*Triticum aestivum*), dan seledri (*Apium graveolens*). Chung *et al.* (2003) dan Jung *et al.* (2004) melaporkan pengaruh alelopati dari residu sekam, batang, dan daun padi. Hong *et al.* (2004) melaporkan pengaruh alelopati dari beberapa jenis tumbuhan yang dapat menekan pertumbuhan gulma sekaligus meningkatkan hasil tanaman

padi. Adanya senyawa alelopati dari residu tumbuhan perlu menjadi pertimbangan dalam kegiatan persiapan tanam (pengolahan tanah), pengendalian gulma, dan penggunaan serasah sebagai mulsa organik. Residu gulma dan tanaman yang memiliki pengaruh negatif alelopati sebaiknya tidak dibiarkan terdekomposisi di areal pertanaman dan tidak dipergunakan sebagai mulsa organik.

Alelopati dari Mikroorganisme. Alelopati dari mikroorganisme telah dilaporkan sejak tahun 1951, yaitu identifikasi senyawa *griseofulvin* dari *Penicillium griseofulvum* yang menghambat pertumbuhan tanaman gandum. Beberapa galur *Fusarium equiseti* juga dilaporkan menghasilkan senyawa yang bersifat toksik terhadap tanaman kapri. Beberapa *Rhizobacteria* juga dilaporkan menyebabkan penghambatan perkecambahan benih, gangguan pertumbuhan akar dan menjadi peka terhadap serangan patogen pada tanaman target. Selain pengaruhnya pada tanaman, alelopati dari mikroorganisme juga dapat mempengaruhi mikroorganisme lain (Rice 1995). Pada pertanaman padi, inokulasi sianobakteri yang dimaksud untuk meningkatkan ketersediaan N, dilaporkan adanya potensi negatif alelopati dari senyawa metabolit sekunder yang dihasilkannya (Inderjit & Keating 1999). Bakteri *Streptomyces sagononensis*, *S. hygrosopicus*, dan *Pseudomonas fluorescens* dilaporkan mengeluarkan senyawa alelopati yang menghambat pertumbuhan beberapa tanaman (Singh *et al.* 2001).

Alelopati dari Tepung Sari. Tepung sari dari gulma *Parthenium hysterophorus*, *Agrotis stolonifera*, *Erigeron annuus*, *Melilotus alba*, *Phleum pratense*, *Vicia craca*, dan *Hieracium aurantiacum* dilaporkan memiliki pengaruh alelopati. Tepung sari tanaman jagung juga dilaporkan memiliki pengaruh alelopati. Pengaruh alelopati tersebut dapat terjadi pada perkecambahan, pertumbuhan, maupun pembuahan dari spesies target (Inderjit & Keating 1999). Hal ini perlu mendapatkan perhatian karena alelopati dari tepung sari kemungkinan menjadi penyebab rendahnya pembuahan pada spesies tertentu.

Keragaman Potensi Alelopati

Potensi alelopati dari suatu organisme sumber dan pengaruhnya terhadap organisme target memiliki keragaman yang secara umum disebabkan oleh faktor genetika maupun lingkungan. Keragaman potensi alelopati karena faktor lingkungan dapat terjadi pada keadaan perbedaan populasi, siklus hidup dan waktu tanam, tanah dan iklim, serta adanya cekaman biotik maupun abiotik. Informasi tentang keragaman potensi alelopati merupakan bahan pertimbangan dalam praktik budi daya tanaman seperti penentuan jenis tanaman dan pola tanam, waktu tanam, serta tindakan-tindakan dalam pemeliharaan tanaman.

Faktor Genetika. Selain spesies yang berbeda, potensi alelopati juga bervariasi antar varietas atau aksesi dalam spesies yang sama. Pada tanaman padi, Dilday *et al.* (1998) melaporkan dari sekitar 16 000 aksesi yang diuji di lapangan, 412 aksesi bersifat alelopati terhadap *Heteranthera limosa*,

145 aksesi bersifat alelopati terhadap *Ammania coccinea*, dan 16 aksesi terhadap keduanya. Keragaman potensi alelopati pada padi juga dilaporkan oleh Hassan *et al.* (1998), Olofsdotter (2001), Chung *et al.* (2003), dan Lee *et al.* (2003 & 2004). Junaedi *et al.* (2005) melaporkan keragaman potensi alelopati pada *Recombinant Inbred Lines* (RILs) persilangan Nongan dengan Sathi menggunakan metode pengujian *Double Pots Allelopathy Bioassay* (DPAB) di laboratorium dan *Rice Ratoon Interplanting Barnyardgrass Seedling* (RRIBS) di sawah. Varietas Sathi dapat menekan bobot kering tajuk jajagoan (*Echinochloa crus-galli* Beauv. var. *frumentaceae*), yang dipergunakan sebagai indikator pengaruh alelopati dari padi, sebesar 43% pada DPAB dan 89% pada RRIBS. Varietas Nongan hanya dapat menekan bobot kering tajuk jajagoan sebesar 20% pada DPAB dan 69% pada RRIBS. Pada pengujian potensi alelopati 181 galur RILs persilangan Nongan/Sathi diperoleh penyebaran potensi alelopati dalam kategori rendah-sedang-tinggi pada DPAB masing-masing 34-88-59 galur dan pada RRIBS masing-masing 37-82-62 galur. Berdasarkan atas galur dengan potensi alelopati tinggi, diperoleh lima galur yang memiliki potensi untuk dikembangkan berdasarkan kriteria agronomi yang diharapkan.

Populasi, Siklus Hidup, dan Waktu Tanam. Pengaruh alelopati dilaporkan berkurang dengan meningkatnya populasi spesies target. Siklus hidup tumbuhan penghasil alelopati berpengaruh terhadap tumbuhan target. Hal ini berkaitan dengan tingkat ketersediaan senyawa alelopati secara statis maupun dinamis, persistensi, dan kondisinya di rizosfer. Siklus hidup ini sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Gulma setahun dengan gulma tahunan memiliki pengaruh alelopati yang berbeda. Masa hidup tumbuhan sumber alelopati berkaitan dengan masa kritis pengaruh alelopati yang dipengaruhi oleh saat terbentuknya senyawa alelopati (Inderjit & Keating 1999).

Tanah dan Iklim. Gulma *Pluchea lanceolata* yang tumbuh pada lahan yang diolah, menghasilkan total senyawa fenolik lebih banyak daripada lahan yang tidak diolah, kandungan fenol tahun kedua pada lahan yang diolah juga meningkat. Senyawa *quercetin* ditemukan pada lahan yang diolah, namun tidak ditemukan pada lahan yang tidak diolah (Singh *et al.* 2003). Inderjit dan Keating (1999) melaporkan kandungan senyawa-senyawa yang bersifat alelopati juga bervariasi dari suatu lokasi ke lokasi yang lainnya dan dari suatu waktu ke waktu yang lainnya. Variasi alelopati tersebut berkaitan dengan variasi kondisi iklim dan tanah seperti suhu udara dan tanah, dan kelembaban tanah.

Retensi, transformasi, dan pergerakannya dalam tanah mempengaruhi kondisi senyawa alelopati. Kajian alelopati juga harus mempertimbangkan kondisi fisik, kimia, dan biologi tanah. Ekspresi alelopati di lapangan sangat dipengaruhi oleh tekstur tanah, kemasaman, C organik, kandungan hara, teknik pengolahan tanah, dan sistem tanam (Lalljee & Facknath 2000; Singh *et al.* 2001). Mikroorganisme tanah berperan penting memodifikasi pengaruh alelopati dengan mendegradasi senyawa alelopati sehingga dapat bersifat lebih aktif atau berkurang aktivitas alelopatinya. Di tanah, senyawa alelopati

dapat dalam keadaan bebas atau berikatan dengan partikel tanah yang bersifat dapat balik (*reversible*) maupun tidak dapat balik (Rice 1984; Inderjit & Keating 1999). Dalam sistem tanah, rizobakteria tertentu dapat berinteraksi dengan tumbuhan inang dan menstimulasi pertumbuhan seperti meningkatkan ketersediaan hara dan kemampuan fiksasi nitrogen, serta proteksi terhadap patogen secara biologis, yaitu menginduksi resistensi tanaman secara sistemik (Sturz & Christie 2003).

Cekaman Biotik dan Abiotik. Cekaman yang diakibatkan faktor lingkungan seperti kelembapan, hara, suhu, kerapatan tanam, cahaya, juga patogen mempengaruhi produksi, persistensi dan efektivitas alelopati (Weidenhamer 1996). Umumnya cekaman baik biotik maupun abiotik cenderung meningkatkan produksi senyawa metabolit sekunder. Interaksi senyawa alelopati asam ferulat dengan herbisida atrazina juga dilaporkan memiliki pengaruh aditif (Einhellig 1996).

Lingkup Kajian Alelopati

Secara umum, kajian alelopati meliputi aspek biokimia khususnya mengenai senyawa alelopati, aspek yang berkaitan dengan ekologi, fisiologi, metode pengujian, molekuler, dan genetika. Luasnya cakupan keilmuan yang mengupas fenomena alelopati menjadikan kajian alelopati ini dibahas dan dipublikasikan dalam beragam jurnal dan media komunikasi ilmiah.

Senyawa Alelopati. Senyawa metabolit sekunder seperti fenolik, terpenoid, alkaloid, steroid, poliasetilena, dan minyak esensial dilaporkan memiliki aktivitas alelopati. Metabolit primer tertentu juga memiliki peranan dalam alelopati, seperti asam palmitat dan stearat, tetapi umumnya senyawa alelopati termasuk ke dalam golongan metabolit sekunder. Senyawa fenolik dengan kelarutan dalam air tinggi dilaporkan memiliki aktivitas alelopati yang rendah. Sebaliknya senyawa fenolik dengan kelarutan dalam air rendah memiliki aktivitas alelopati yang tinggi (Rice 1984; Seigler 1996; Inderjit & Keating 1999).

Mattice *et al.* (1998) mengidentifikasi senyawa fenolik 4-hidroksibenzoat, 4-hidroksihidroksinamat, dan asam-asam 3,4-dihidroksihidroksinamat dari aksesi padi yang memiliki pengaruh alelopati. Kato (2003) mengisolasi dan menguji aktivitas alelopati senyawa pisatin terhadap *Lepidum sativum* dan *Lactuca sativa*. Chung *et al.* (2002) mengidentifikasi pengaruh 23 senyawa alelopati dari ekstrak sekam padi terhadap *E. crus-galli* dan mendapatkan empat senyawa paling aktif, yaitu asam ferulat, asam *p*-hidroksibenzoat, asam *p*-kumarat, dan asam *m*-kumarat. Kato dan Ino (2003) melaporkan senyawa momilaktone-B dari kecambah padi yang memiliki aktivitas alelopati terhadap *Lepidum sativum*. Kong *et al.* (2004) mengisolasi senyawa flavona dan sikloheksenona dari daun padi dan menguji efek alelopatinya terhadap gulma *E. crus-galli*, *Cyperus difformis* dan *C. iria*, serta patogen *Pyricularia oryzae* dan *Rhizoctonia solani*. Barnes *et al.* (1986) mengisolasi senyawa 2-4 dihidroksi-1,4(2H)-benzoksazina-3-one (DIBOA) dan 2(3H)-benzoksazolinona (BOA) yang mempunyai pengaruh alelopati pada beberapa gulma.

Djurdjevic *et al.* (2004) melaporkan potensi alelopati senyawa fenolik dari gulma *Allium ursinum* dari umbi, daun, dan tanah dari ekstrak air dan senyawa atsirinya. Qasem dan Foy (2001) mencatat senyawa alelopati yang dikeluarkan oleh 75 jenis gulma yang telah dilaporkan antara lain: ageratokromena dan turunannya, monoterpena serta diterpena dari *Ageratum conyzoides*, fenilheptatriena dari *Bidens pilosa*, asam fenolik dan alkaloid dari *Chromolaena odorata*, seskuiterpena dan tanin-tanin katekol dari *Cyperus rotundus*, fenolik, vanilik, *p*-kumarat, asam siringat, skopolin, skopoletin, klorogenat, dan asam isoklorogenat dari *Imperata cylindrica*; senyawa fenolik dari *Lantana camara*, α -tertienil dari *Tagetes erecta* dan *T. minuta*.

Ekologi. Fenomena alelopati sering dikategorikan ke dalam disiplin kemoekologi atau ekofisiologi. Ketika diidentifikasi adanya interferensi di lingkungan tumbuhnya, pertama kali perlu diidentifikasi peranan ekologi seperti keadaan cuaca/iklim, kompetisi sarana tumbuh dan imobilisasi hara oleh mikroorganisme (Narwal 2000). Pengaruh faktor lingkungan perlu mendapatkan perhatian karena adanya interaksi dengan faktor genetika dalam ekspresi fenotipe alelopati. Produksi dan ekskresi senyawa alelopati dilaporkan dipengaruhi oleh suhu, cahaya, kondisi tanah, mikroorganisme, status hara, dan aplikasi herbisida (Olofsdotter 2001). Dubey dan Hussain (2000), Goslee *et al.* (2001), dan An *et al.* (2003) telah mensimulasikan pengaruh lingkungan terhadap aktivitas alelopati melalui pendekatan modeling, masing-masing menggunakan asumsi ada/tidaknya senyawa alelopati dan proses difusinya, penyebaran *Acroptilon repens* pada variasi tekstur tanah dan lingkungannya, serta dinamika alelopati pada variasi umur tanaman dengan lingkungannya.

Fisiologi. Berbagai kajian fisiologi dari senyawa alelopati menunjukkan peranannya yang penting dalam mempengaruhi aktivitas pemanjangan dan pembelahan sel, fotosintesis, respirasi, permeabilitas membran, pembukaan stomata, penyerapan ion mineral serta metabolisme protein dan asam nukleat (Baziramakenga *et al.* 1997; Qasem & Foy 2001). Pengukuran aktivitas fotosintesis tanaman indikator terhadap suatu senyawa tunggal alelopati tertentu menunjukkan adanya pengurangan laju fotosintesis. Akan tetapi, pengaruh total berbagai senyawa fenolik dilaporkan meningkatkan laju fotosintesis (Stiles *et al.* 1994). Yu *et al.* (2003) melaporkan bahwa senyawa alelopati dari *Cucumis sativus* yang diujikan pada tanaman yang sama meningkatkan aktivitas enzim peroksidase dan superoksida dismutase dari akar, mengurangi konduktansi stomata dari daun, mengurangi laju transpirasi, serta menurunkan laju asimilasi bersih. Vyvyan (2002) melaporkan bahwa mekanisme kerja senyawa alelopati antara lain berkaitan dengan sintesis asam amino (sintesis glutamina, aspartat aminotransferase), sintesis pigmen (sintesis asam livulenat (ALA)), fungsi plasma membran (H^+ -ATPase, NADH oksidase), fotosintesis (*CFI ATPase*), sintesis lipid (Asetil-CoA transiklase, 3-oksoasil-ACP sintesis, seramida sintase), dan sintesa asam nukleat (*RNA polymerase*, adenosilsuksinat sintase, AMP *deaminase*, isoleusil-t-RNA sintase). Beberapa mekanisme tersebut tidak ditemui dalam mekanisme kerja herbisida sintetis, karena itu senyawa alelopati sangat memiliki prospek untuk dimanfaatkan sebagai herbisida.

Metode Pengujian. Penelitian mengenai alelopati perlu didukung dengan ketersediaan metode pengujian alelopati (bioasai) baik dalam skala laboratorium maupun lapangan. Metode pengujian selain harus akurat juga diharapkan relatif mudah, cepat, dan murah. Pada tanaman padi terdapat lebih dari dua belas metode uji potensi alelopati. Lee *et al.* (2003) telah membandingkan metode uji di laboratorium: *relay seeding*, kultur hidroponik, *ratoon screening*, dan *straw mill and soil mixture*. Bioasai di laboratorium umumnya dikondisikan pada lingkungan tertentu secara terkendali, karenanya memerlukan pengujian lebih lanjut bagi implikasinya di lapangan pada lingkungan alamiah. Senyawa yang diekstrak dari jaringan tumbuhan juga kemungkinan tidak dilepaskan oleh tumbuhan itu ke lingkungannya. Pada kondisi yang lain, senyawa yang dilepaskan dari guguran daun atau residu tumbuhan mungkin bersifat alelopati tetapi tumbuhan tidak menunjukkan pengaruh alelopati pada lingkungannya (Inderjit & Keating 1999; Inderjit & Nilsen 2003).

Genetika Molekuler. Informasi heritabilitas dan identifikasi gen yang berasosiasi dengan karakter alelopati merupakan hal penting bagi program pemuliaan. Pada tanaman padi, dengan metode *relay seeding* diperoleh nilai heritabilitas (arti luas) 0.85. Analisis genetika yang dilakukan pada populasi RILs dari persilangan IAC165 dengan CO39 diperoleh empat *Quantitative Trait Loci* (QTL) yang berasosiasi dengan karakter alelopati dan menunjukkan pewarisan secara kuantitatif (Jensen *et al.* 2001). Di Korea, So (komunikasi pribadi, 2004) melalui teknik mikrosatelit dan penanda *Sequence-Tagged Sites* (STS) telah melakukan analisis genetika yang berasosiasi dengan karakter alelopati pada padi dari RILs Nongan dengan Sathi. Melalui teknik rekayasa genetika, gen *deoxyxylulose phosphate reductoisomerase* (*DXR*) yang berperan sebagai katalisator biosintesis monoterpen telah diisolasi dari tumbuhan dan bakteri serta berhasil ditransfer ke tanaman *peppermint* sehingga dapat meningkatkan sistem pertahanan tanaman sekaligus meningkatkan produksi minyak esensial dan aroma (Mahmoud & Croteau 2002).

Alelopati dalam Isu Pertanian Berkelanjutan

Pertanian berkelanjutan sangat ditunjang dengan praktik pengelolaan agroekosistem yang ramah lingkungan. Alternatif penggunaan teknik dan sumberdaya produksi yang ramah lingkungan perlu terus dikembangkan dan dioptimalkan pemanfaatannya. Senyawa alelopati dari tanaman, gulma, maupun mikroorganisme merupakan salah satu potensi yang dapat didayagunakan peranannya dalam sistem produksi pertanian. Tentu saja selain karena sifatnya yang ramah lingkungan, pertimbangan pemilihan alternatif ini harus tetap juga memenuhi kriteria secara teknis dan ekonomis yang menjadi tuntutan sistem produksi pertanian yang komersial.

Pengendalian Gulma secara Biologi. Senyawa alelopati yang mempunyai pengaruh terhadap penekanan pertumbuhan gulma sangat potensial dipergunakan sebagai agen pengendalian gulma secara biologi. Termasuk dalam upaya ini antara lain penggunaan varietas yang memiliki potensi menekan pertumbuhan gulma seperti yang dilaporkan pada

padi, mentimun, serta pemanfaatan serasah sebagai mulsa (Weston 1996; Dilday *et al.* 1998; Barker & Bhowmik 2001; Bhowmik & Inderjit 2003; Singh *et al.* 2003). Penanaman tanaman penutup tanah seperti *Mucuna pruriens*, *Vicia villosa*, *Trifolium* spp., dan *Melilotus* spp. dapat bermanfaat menekan pertumbuhan gulma, menambah bahan organik, dan fiksasi nitrogen (Weston 1996; Fujii 2001; Caamal-Maldonado *et al.* 2001).

Herbisida Alami. Senyawa alelopati dari tumbuhan atau mikroorganisme yang berpengaruh sebagai herbisida sangat memberikan insentif bagi kesehatan dan kelestarian lingkungan (Macias *et al.* 2001; Singh *et al.* 2003). Haisey (1996) mengisolasi senyawa ailantona dari kulit akar pohon *Ailanthus altissima* yang berpengaruh sebagai herbisida pra- dan pasca-tumbuh. Beberapa senyawa alami yang telah diuji sebagai herbisida adalah sinmetilin, toksin yang dikeluarkan *Alternaria alternata* f.sp. *lycopersici* (toksin AAL: suatu metabolit dari patogen penyebab kanker batang tomat), dan mesotriona (Bhowmik & Inderjit 2003). Efikasi formulasi cairan dari ekstrak umbi teki telah dilakukan terhadap pertumbuhan kecambah gulma *Mimosa invisa* dan *Melochia corchorifolia* (Setyowati & Suprijono 2000). Herbisida dari senyawa alelopati yang sudah dikomersialkan antara lain organofosforus (bialafos dan fosfontrisin yang diperoleh dari isolat bakteri), *triketon* (leptospermona yang diperoleh dari tumbuhan *Leptospermum scoparium*) dan sinmetilin (Vyvyan 2002).

Pengendalian Patogen Tanaman. Rice (1995) melaporkan beberapa ekstrak tumbuhan yang dapat mengendalikan patogen. Ekstrak *Vitex negundo*, *Curcuma amada*, *Hydnocarpus laurifolia*, *Hemidesmus indicus*, *Ferula assafoetida*, *Saussurea lappa*, dan *Cassia tora* dapat mengendalikan *Sclerotinia sclerotiorum* yang menyebabkan busuk akar pada buncis. Ekstrak umbi dan daun bawang putih (*Allium sativum*) bersifat antifungi terhadap genus *Fusarium*. Ekstrak daun *Azadirachta indica* dan *Lawsonia inermis* cukup efektif mengendalikan penyakit bercak daun dan karat pada kacang tanah yang disebabkan *Phaeoisariopsis personata* dan *Puccinia arachidis*. Ekstrak *Piper betle* dan *Ocimum sanctum* cukup efektif mengendalikan *Pyricularia oryzae*, *Cochliobolus miyabeanus*, dan *Rhizoctonia solani* pada padi. Tanaman penutup tanah *Mucuna deeringiana* dan *Canavalia ensiformis* dilaporkan dapat berfungsi sebagai nematisida (Caamal-Maldonado *et al.* 2001).

Pola Pertanaman. Rotasi tanaman dan pertanaman ganda berimplikasi erat dengan status kesuburan lahan serta pengendalian hama dan penyakit tanaman. Alelopati dalam penentuan pola pertanaman penting untuk dipertimbangkan dalam kaitannya dengan pemilihan jenis tanaman, waktu tanam dan sistem tanam (Mamolos & Kalburtji 2001). Seledri (*Apium graveolens*) dilaporkan memiliki efek alelopati terhadap tanaman yang ditanam atau gulma yang tumbuh berikutnya di lahan yang sama (Bewick *et al.* 1994). Tanaman *Tagetes erecta* yang ditumpangsarikan dengan tomat secara nyata dapat menekan serangan penyakit hawar daun (*early blight*) *alternaria* yang disebabkan *Alternaria solani* (Gomez-Rodriguez *et al.* 2003). *Tagetes* spp. sebagai tanaman tumpang

sari juga dilaporkan dapat menekan serangan nematoda (Mojumder 2000).

Kajian alelopati berkembang sangat pesat dan menarik minat banyak peneliti dari berbagai disiplin ilmu untuk menekuninya. Fenomena alelopati selain dikaji dalam tataran keilmuan juga memiliki implikasi secara praktis untuk diterapkan dalam sistem produksi pertanian. Senyawa alelopati dari tanaman, gulma, residu tumbuhan, maupun mikroorganisme dapat dimanfaatkan bagi tujuan pengendalian gulma, patogen, dan hama tanaman dalam mendukung teknologi budi daya tanaman ramah lingkungan pada sistem pertanian berkelanjutan. Walaupun kemajuan telah banyak dicapai, namun tetap masih diperlukan upaya-upaya pengembangan kajian mengenai alelopati ini yang pada akhirnya juga harus bermuara pada aspek praktis penerapannya. Lingkup pengembangan kajian yang dapat dilakukan antara lain: (i) kajian dengan pendekatan menghindari pengaruh negatif alelopati pada tanaman dan lingkungannya, seperti pemilihan mulsa organik, pemilihan tanaman penutup tanah, penentuan waktu tanam, serta penetapan pola dan rotasi tanaman yang tepat; (ii) kajian dengan pendekatan memanfaatkan potensi alelopati dari berbagai sumber untuk tujuan aplikasi dalam sistem pengendalian organisme pengganggu tanaman (OPT) secara terpadu, seperti penggunaan senyawa alelopati tertentu untuk pengendalian gulma, hama, maupun penyakit tanaman; serta (iii) kajian dengan pendekatan mengidentifikasi dan merakit varietas tanaman dengan potensi alelopati yang tinggi sehingga dapat melakukan mekanisme pengendalian OPT tertentu secara mandiri (*self defense*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Yaya Rukayadi (Yonsei University, Seoul) atas diskusi dan masukannya yang sangat berharga dalam penyusunan ulasan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- An M, Liu DL, Johnson IR, Lovett JV. 2003. Mathematical modeling of allelopathy: II. The dynamics of allelochemicals from living plants in the environment. *Ecol Model J* 161:53-66.
- Barker AV, Bhowmik PC. 2001. Weed control with crop residues in vegetable cropping systems. *J Crop Prod* 4:163-183.
- Barnes JP, Putnam AR, Burke BA. 1986. Allelopathic activity of rye (*Secale cereale* L.). Di dalam: Putnam AR, Tang CS (ed). *The Science of Allelopathy*. New York: John Wiley & Sons. hlm 271-286.
- Batish DR, Singh HP, Kohli RK, Kaur S. 2001. Crop allelopathy and its role in ecological agriculture. *J Crop Prod* 4:121-161.
- Baziramakenga R, Leroux GD, Simard RR, Nadeau P. 1997. Allelopathic effects of phenolic acids on nucleic acid and protein levels in soybean seedlings. *Can J Bot* 75:445-450.
- Bewick TA, Shilling DG, Dusky JA, Williams D. 1994. Effects of celery (*Apium graveolens*) root residue on growth of various crops and weeds. *Weed Technol* 8:625-629.
- Bhowmik PC, Inderjit. 2003. Challenges and opportunities in implementing allelopathy for natural weed management. *Crop Prot J* 22:661-671.

- Caamal-Maldonado JA, Jimenez-Osornio JJ, Torres-Barragan A, Anaya AL. 2001. The use of allelopathic legume cover and mulch species for weed control in cropping systems. *Agron J* 93:27-36.
- Chung IM *et al.* 2002. Screening of allelochemicals on barn yard grass (*Echinochloa crus-galli*) and identification of potentially allelopathic compounds from rice (*Oryza sativa*) variety hull extracts. *Crop Prot J* 21:913-920.
- Chung IM *et al.* 2003. Comparison of allelopathic potential of rice leaves, straw, and hull extracts on Barnyardgrass. *Agron J* 95:1063-1070.
- Dilday RH, Yan WG, Moldenhauer KAK, Gravois KA. 1998. Allelopathic activity in rice for controlling major aquatic weeds. Di dalam: Olofsdotter M (ed). *Allelopathy in Rice*. Manila: International Rice Research Institute. hlm 7-26.
- Djurđjević L *et al.* 2004. Allelopathic potential of *Allium ursinum* L. *Biochem Syst Ecol J* 32:533-544.
- Dubey B, Hussain J. 2000. A model for allelopathic effect on two competing species. *Ecol Model J* 129:195-207.
- Einhellig FA. 1996. Interactions involving allelopathy in cropping systems. *Agron J* 88:886-893.
- Elakovich SD, Wooten JW. 1995. Allelopathic woody plant, Part I: *Abies alba* through *Lyonia lucida*. *Allelopathy J* 2:117-146.
- Fujii Y. 2001. Screening and future exploitation of allelopathic plants as alternative herbicides with special reference to hairy vetch. *J Crop Prod* 4:257-275.
- Gill AS, Prasad JVNS. 2000. Allelopathic interactions in agroforestry systems. Di dalam: Narwal SS, Hoagland RE, Dilday RH, Reigosa MJ (ed). *Allelopathy in Ecological Agriculture and Forestry*. Dordrecht: Kluwer Acad Publ. hlm 195-207.
- Gomez-Rodriguez O, Zavaleta-Mejia E, Gonzalez-Hernandez VA, Livera-Munoz, Cardenas-Soriano E. 2003. Allelopathy and microclimatic modification of intercropping with marigold on tomato early blight disease development. *Field Crop Res J* 83:27-34.
- Goslee SC, Peters DPC, Beck KG. 2001. Modeling invasive weeds in grasslands: the role of allelopathy in *Acropilton repens* invasion. *Ecol Model J* 139:31-45.
- Haisey RM. 1996. Identification of an allelopathic compound from *Ailanthus altissima* (Simaroubaceae) and characterization of its herbicidal activity. *Am J Bot* 83:192-200.
- Hassan SM, Aidy IR, Bastawisi AO, Draz AE. 1998. Weed management using allelopathic rice varieties in Egypt. Di dalam: Olofsdotter M (ed). *Allelopathy in Rice*. Manila: International Rice Research Institute. hlm 27-37.
- Hong NH, Xuan TD, Eiji T, Khanh TD. 2004. Paddy weed control by higher plants from Southeast Asia. *Crop Prot J* 23:255-261.
- Inderjit, Keating KI. 1999. Allelopathy: principles, procedures, processes, and promises for biological control. Di dalam: Sparks DL (ed). *Adv Agron Vol 67*. San Diego: Acad Pr. hlm 141-231.
- Inderjit, Nilsen ET. 2003. Bioassays and field studies for allelopathy in terrestrial plants: progress and problems. *Critical Rev Plant Sci* 22:221-238.
- Jensen LB *et al.* 2001. Locating genes controlling allelopathic effects against barnyardgrass in upland rice. *Agron J* 93:21-26.
- Junaedi A, Chun SG, Lee SB, Chung IM, Kim KH. 2005. Rice allelopathic potential of recombinant inbred lines in Nongan/Sathi cross. *Korean J Crop Science* 50 supp 2:260-261.
- Jung WS, Kim KH, Ahn JK, Hahn SJ, Chung IM. 2004. Allelopathic potential of rice (*Oryza sativa* L.) residues against *Echinochloa crus-galli*. *Crop Prot J* 23:211-218.
- Kato NH. 2003. Isolation and identification of an allelopathic substance in *Pisum sativum*. *Phytochemistry* 62:1141-1144.
- Kato NH, Ino T. 2003. Rice seedlings release momilactone-B into the environment. *Phytochemistry* 63:551-554.
- Kong C *et al.* 2004. Two compounds from allelopathic rice accession and their inhibitory activity on weeds and fungal pathogens. *Phytochemistry* 65:1123-1128.
- Lalljee B, Facknath S. 2000. Allelopathic interactions in soil. Di dalam: Narwal SS, Hoagland RE, Dilday RH, Reigosa MJ (ed). *Allelopathy in Ecological Agriculture and Forestry*. Dordrecht: Kluwer Acad Publ. hlm 47-58.
- Lee SB, Kim KH, Hahn SJ, Chung IM. 2003. Evaluation of screening methods to determine the allelopathic potential of rice varieties against *Echinochloa crus-galli* Beauv. var. *oryzicola* Ohwi. *Allelopathy J* 12:37-52.
- Lee SB, Ku YC, Kim KH, Hahn SJ, Chung IM. 2004. Allelopathic potential of rice germplasm against barnyardgrass. *Allelopathy J* 13:17-28.
- Macias FA *et al.* 2001. The use of allelopathic studies in the search for natural herbicides. *J Crop Prod* 4:237-255.
- Mahmoud SS, Croteau RB. 2002. Strategies for transgenic manipulation of monoterpene biosynthesis in plants. *Trends Plant Sci* 2:1360-1385.
- Mamolot AP, Kalburtji KL. 2001. Significance of allelopathy in crop rotation. *J Crop Prod* 4:197-218.
- Mattice J, Lavy T, Skulman B, Dilday RH. 1998. Searching for allelochemicals in rice control ducksalad. Di dalam: Olofsdotter M (ed). *Allelopathy in Rice*. Manila: International Rice Research Institute. hlm 81-98.
- Mojumder V. 2000. Eco-friendly technologies for management of phytoparasitic nematodes in pulses and vegetable crops. Di dalam: Narwal SS, Hoagland RE, Dilday RH, Reigosa MJ (ed). *Allelopathy in Ecological Agriculture and Forestry*. Dordrecht: Kluwer Acad Publ. hlm 59-69.
- Molisch H. 1937. *Der Einfluss einer Pflanze auf die andere- Allelopathie*. Jena: Fischer.
- Narwal SS. 2000. Allelopathy in ecological agriculture. Di dalam: Narwal SS, Hoagland RE, Dilday RH, Reigosa MJ (ed). *Allelopathy in Ecological Agriculture and Forestry*. Dordrecht: Kluwer Acad Publ. hlm 11-32.
- Olofsdotter M. 2001. Rice-a step toward use allelopathy. *Agron J* 93:3-8.
- Putnam AR, Weston LA. 1986. Adverse impact of allelopathy in agricultural systems. Di dalam: Putnam AR, Tang CS (ed). *The Science of Allelopathy*. New York: John Wiley & Sons. hlm 43-56.
- Qasem JR, Foy CL. 2001. Weed allelopathy, its ecological impacts and future prospects: a review. *J Crop Prod* 4:43-119.
- Reigosa MS, Gonzalesy L, Souto XC, Pastoriza JE. 2000. Allelopathy in forest ecosystem. Di dalam: Narwal SS, Hoagland RE, Dilday RH, Reigosa MJ (ed). *Allelopathy in Ecological Agriculture and Forestry*. Dordrecht: Kluwer Acad Publ. hlm 183-193.
- Rice EL. 1974. *Allelopathy*. Ed ke-1. Orlando: Acad Pr.
- Rice EL. 1984. *Allelopathy*. Ed ke-2. Orlando: Acad Pr.
- Rice EL. 1995. *Biological Control of Weeds and Plant Diseases: Advances in Applied Allelopathy*. Norman: Univ of Oklahoma Pr.
- Seigler DS. 1996. Chemistry and mechanisms of allelopathic interactions. *Agron J* 88:876-885.
- Setyowati N, Suprijono E. 2000. Efikasi alelopati teki formulasi cairan terhadap gulma *Mimosa invisa* dan *Melochia corchorifolia*. *J Ilmu-ilmu Pert Indon* 2:75-82.
- Singh HP, Batish DR, Kohli RK. 2001. Allelopathy in agroecosystems: an overview. *J Crop Prod* 4:1-41.
- Singh HP, Batish DR, Kohli RK. 2003. Allelopathic interaction and allelochemicals: new possibilities for sustainable weed management. *Crit Rev Plant Sci* 22:239-311.
- Stiles LH, Leather GR, Chen PK. 1994. Effects of two sesquiterpene lactones isolated from *Artemisia annua* on physiology of *Lemna minor*. *J Chem Ecol* 20:99-978.
- Sturz AV, Christie BR. 2003. Beneficial microbial allelopathies in the root zone: the management of soil quality and plant disease with rhizobacteria. *Soil Till Res* 72:107-123.
- Vyvyan JR. 2002. Allelochemicals as leads for new herbicides and agrochemicals. *Tetrahedron* 58:1631-1646.
- Weidenhamer JD. 1996. Distinguishing resource competition and chemical interference: overcoming the methodological impasse. *Agron J* 88:866-875.
- Weston LA. 1996. Utilization of allelopathy for weed management in agroecosystems. *Agron J* 88:860-866.
- Yu JQ, Ye SF, Zhang MF, Hu WH. 2003. Effects of root exudates and aqueous root extracts of cucumber (*Cucumis sativus*) and allelochemicals, on photosynthesis and antioxidant enzymes in cucumber. *Biochem Syst Ecol* 31:129-139.