

Pencilan *Trichoderma* 1614: Agen pengurusan sisa pertanian yang efektif

(*Trichoderma* isolate 1614: The effective agricultural waste management agent)

Tosiah Sadi, Mohammad Hariz Abdul Rahman dan Nurul Ain Abu Bakar

Pengenalan

Trichoderma adalah salah satu genus kulat yang biasa dijumpai di dalam tanah. Kulat ini biasanya tidak menyerang tanaman dan sering dijumpai bersimbiotik dengan ekosistem akar. Walau bagaimanapun, terdapat juga spesies kulat *Trichoderma* ini yang menjadi parasit kepada kulat lain. *Trichoderma* boleh tersebar melalui spora, *clamydospora* serta miselium dan boleh mengkolonisasi pelbagai jenis ekologi dan mempunyai peranan yang sangat penting untuk pereputan dan juga mengawal penyakit tanaman. *Trichoderma* dikatakan boleh merembes pelbagai jenis enzim seperti *hemisellulase*, *endoxylanase* dan β -*xylosidase* yang membolehkan ia digunakan sebagai agen pereputan bagi bahan-bahan yang mempunyai lignoselulosa yang tinggi.

Malaysia menghasilkan sejumlah 168 juta tan biojisim setahun yang terdiri daripada sisa makanan, sisa ladang atau kebun, sisa landskap dan juga sisa daripada agro industri yang pelbagai. Industri padi misalnya, menghasilkan kira-kira 2.49 juta t/musim sisa dalam bentuk biojisim jerami padi berasaskan anggaran hasil padi sebanyak 1.5 juta t/musim dan berat jerami bersamaan 1.66 kali hasil padi. Ketika musim kering, jerami biasanya dijual untuk pelbagai kegunaan, tetapi semasa musim hujan, jerami biasanya ditinggalkan mereput di sawah. Jika jerami dikeluarkan berterusan dari sawah, nutrien tidak akan dikembalikan semula kepada tanah secara semula jadi. Manakala, pereputan secara semula jadi pula mengambil masa yang lama dan akibatnya, apabila musim menanam bermula, jerami yang tidak mereput sepenuhnya akan terendam di dalam air. Proses pereputan yang berlaku dengan keadaan kekurangan udara dan terlampau basah boleh mengakibatkan pembebasan gas rumah kaca yang akan menyumbang kepada pemanasan global.

Sementara itu, sisa landskap pula biasanya dibuang ke tapak-tapak pelupusan. Walaupun tidak sebanyak sisa makanan, sisa landskap yang biasanya bersaiz besar memerlukan kawasan pembuangan yang luas. Oleh kerana kayu-kayu ini juga biasanya mereput dengan kadar yang perlahan, tapak-tapak pelupusan akan penuh dalam tempoh yang singkat. Walaupun tidak ada rekod rasmi jumlah sisa landskap yang dijana di Malaysia,

tetapi bagi kawasan sekitar Lembah Kelang sahaja, dianggarkan jumlahnya ialah 50 – 100 t/hari dan bagi Cameron Highlands mencecah sehingga 2 t/hari.

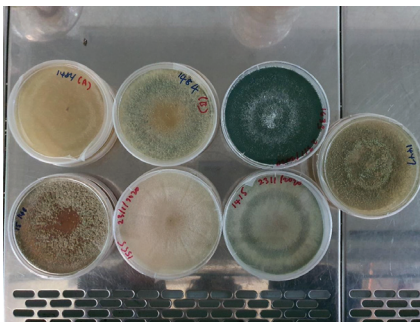
Oleh itu, terdapat keperluan untuk mengurus biojisim ini supaya boleh digunakan semula sebagai kompos. Bermula dari tahun 2014 sehingga kini, terdapat pelbagai usaha untuk membangunkan teknologi yang boleh mempercepatkan proses pengomposan biojisim pertanian terutama bagi biojisim yang mengandungi lignoselulos yang tinggi. Justeru, kajian perlu dijalankan untuk mencari mikroorganisma terutamanya kulat yang berpotensi untuk mempercepatkan proses pengomposan. Dalam usaha ini, MARDI telah menjalankan kajian untuk mengasing, memilih dan mengenal pasti kulat *Trichoderma* yang boleh digunakan sebagai agen pereputan sisa pertanian yang efektif.

Pengasingan *Trichoderma* dari persekitaran dan pengecaman

Sejumlah 150 pencilan kulat telah diasingkan daripada jerami padi yang diambil dari lapan kawasan penanaman padi di sekitar Tanjung Karang dan Sekinchan, Selangor iaitu Bagan Terap,

Panchang Bedena, Pasir Panjang, Sg. Burung, Sg. Leman, Sg. Nipah, Sg. Nibong dan Sekinchan 2. Sementara itu, sejumlah 153 pencilan lagi telah diasingkan daripada lapan longgokan ricihan kayu-kayan dan sisa tumbuhan yang dikompos secara mesofilik di Pulau Tekak Besar, Tasik Kenyir. Daripada kesemua 303 pencilan kulat yang diasingkan, 102 adalah daripada genus *Trichoderma*. Genus ini dicirikan dengan kepelbagaian warna hijau iaitu daripada hijau muda sehingga hijau tua apabila dibiak di atas medium pertumbuhan berasaskan kentang dan gula dektros atau biasanya dipanggil PDA (*potato dextrose agar*).

Ia sangat cepat mengkolonisasi medium dan ada kalanya membentuk satu atau dua cincin berpusar. Spora terbentuk di seluruh permukaan, padat di bahagian yang hampir dengan dinding piring petri atau padat di kawasan pusat cincin (Gambar 1). Jika dilihat di bawah mikroskop, biasanya ia dapat dikenal pasti berdasarkan ciri kedudukan *phialade* yang membentuk seolah-olah tiga cabang (Gambar 2). Dalam keadaan tertentu, ia boleh menghasilkan *clamydospora*, iaitu sel hifa yang menebal dan berfungsi sebagai spora (Gambar 3).



Gambar 1. Sebahagian daripada spesies *Trichoderma* yang telah diasingkan semasa kajian dijalankan



Gambar 2. Kedudukan *phialade* yang seolah-oleh membentuk tiga cabang adalah ciri yang boleh digunakan untuk mengecam genus *Trichoderma*

Daripada 102 pencilan yang telah dikenal pasti melalui teknik molekul, genus *Trichoderma* ini boleh dibahagikan kepada lapan spesies iaitu *T. asperellum* (31 pencilan), *T. harzianum* (37 pencilan), *T. virens* (25 pencilan), *T. koningiopsis* (satu pencilan), *T. reesei* (empat pencilan), *T. spirale* (dua pencilan), *T. ovalisporum* (satu pencilan) dan *T. crassum* (satu pencilan). Walau bagaimanapun, hanya 53 jujukan DNA telah didaftarkan di pangkalan data *National Center for Biotechnology Information* (NCBI).



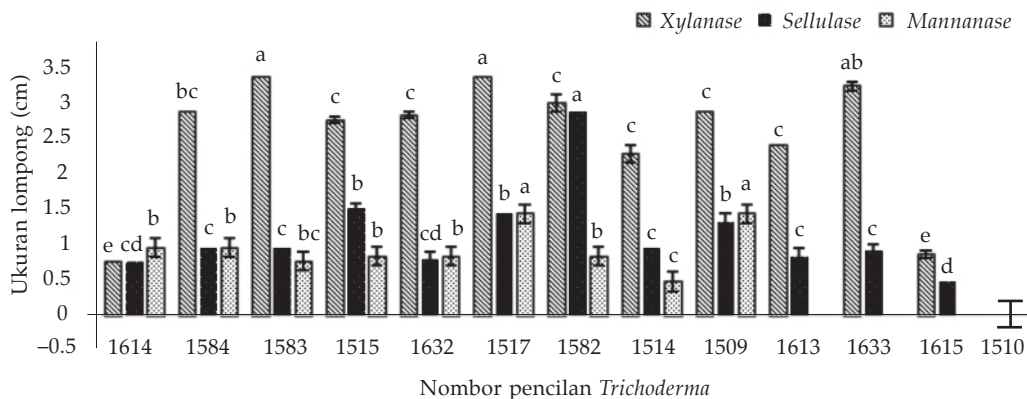
Gambar 3. *Clamydospora* yang dihasilkan oleh *Trichoderma* dalam substrat cecair

Saringan pencilan *Trichoderma* terpilih untuk aktiviti enzim

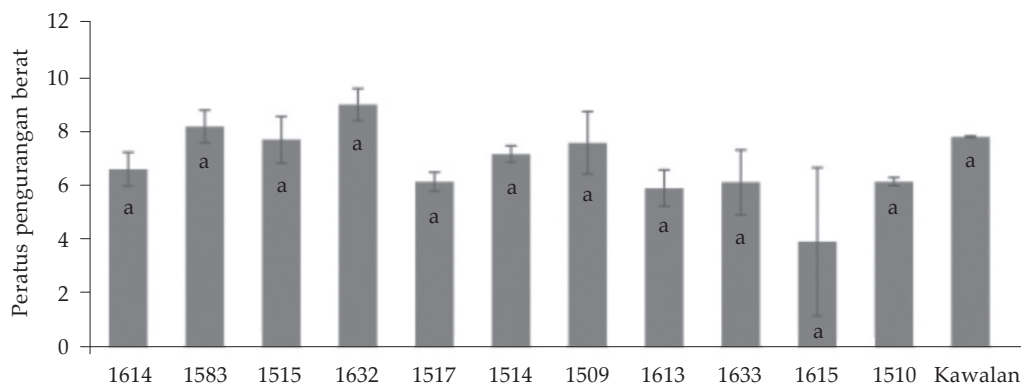
Berdasarkan perbezaan spesies dan morfologi antara spesies, 13 pencilan telah dipilih untuk menjalani ujian cerakin aktiviti enzim *mannanase*, *sellulase* dan *xylanase* (Rajah 1). Ujian ini adalah untuk mengenal pasti pencilan *Trichoderma* yang boleh digunakan sebagai agen biodegradasi bagi sisa pertanian. Ujian dilakukan menggunakan agar-agar yang masing-masing mengandungi manan, selulosa dan xilan. Lompong (*clear zone*) yang dihasilkan di dalam agar-agar menunjukkan kehadiran enzim yang ingin ditentukan. Berdasarkan lompong yang dihasilkan, didapati tujuh daripada 13 pencilan *Trichoderma* yang diuji berupaya menghasilkan enzim yang berpotensi mendegradasi manan, selulosa dan xilan, manakala tiga lagi hanya menghasilkan enzim yang berpotensi untuk mendegradasi xilan dan selulosa sahaja dan satu pencilan iaitu *Trichoderma* 1510 tidak merembeskan ketiga-tiga enzim. Berdasarkan ukuran radial lompong, kesemua pencilan menunjukkan keupayaan berbeza-beza dalam menghasilkan enzim. Hanya pencilan *Trichoderma* 1614 menghasilkan lompong yang berukuran agak setara untuk semua jenis agar-agar dan ini menunjukkan kemungkinan ia boleh menghasilkan enzim *mannanase*, *sellulase* dan *xylanase* secara seimbang.

Saringan *Trichoderma* terpilih berdasarkan pengurangan berat jerami yang dikompos secara mesofilik di dalam makmal

Daripada 13 pencilan yang disaring untuk penghasilan enzim, 11 pencilan telah digunakan untuk kajian pereputan jerami secara mesofilik di makmal. Berdasarkan kajian ini, semua pencilan *Trichoderma* berupaya mereputkan jerami padi dalam masa satu bulan. Terdapat sedikit perbezaan dalam peratus pengurangan berat jerami antara pencilan dengan julat antara 4 – 9.3% (Rajah 2). Walau bagaimanapun, perbezaan ini adalah tidak signifikan.



Rajah 1. Tiga belas pencilan *Trichoderma* yang menunjukkan keupayaan untuk menghasilkan enzim xylanase, sellulase dan mannanase



Rajah 2. Pengurangan berat jerami selepas satu bulan setelah dirawat oleh pencilan *Trichoderma* terpilih

Kajian pengomposan jerami padi di rumah kompos menggunakan empat pencilan *Trichoderma* yang disenarai pendek

Untuk kajian pengomposan ke atas jerami padi seterusnya, hanya empat pencilan telah dipilih. Pencilan dipilih berdasarkan kestabilan pertumbuhan dan keupayaan menghasilkan spora yang banyak dan juga perbezaan dalam aktiviti enzim. Pencilan 1614 dan 1509 mempunyai aktiviti ke atas selulosa, manan dan xilan manakala pencilan 1613 dan 1633 mempunyai aktiviti ke atas selulosa dan xilan sahaja. Untuk kajian ini, 5 kg jerami yang diletakkan di dalam beg jaring bersaiz satu meter persegi dan dirawat dengan 10 g pencilan *Trichoderma* yang telah dipilih. Keputusan kajian ini menunjukkan pencilan *Trichoderma* 1614 mempunyai prestasi yang lebih baik daripada tiga pencilan yang lain termasuk kawalan (Jadual 1) selepas lapan minggu pengomposan jerami dijalankan. Saliniti bagi kompos jerami yang terhasil daripada rawatan pencilan *Trichoderma* 1614 adalah agak

tinggi, tetapi masih dalam julat yang sesuai untuk kebanyakan tanaman iaitu antara 1.5 – 2.0 mS/cm. Bacaan keasidan juga menunjukkan kompos yang terhasil bersifat lebih alkali iaitu pH 9.23 dengan kelembapan 74.71%. Peratus abu yang dihasilkan adalah tinggi berbanding dengan rawatan daripada pencilan *Trichoderma* yang lain dan ini bertepatan dengan ciri pH kompos yang dihasilkan daripada rawatan pencilan 1614 yang lebih bersifat alkali. Selain itu, didapati peratus jumlah keseluruhan nitrogen (N) bagi pencilan *Trichoderma* 1614 juga meningkat dengan nyata berbanding dengan pencilan yang lain sementara peratus jumlah keseluruhan karbon (C) pula berkurang (Jadual 2). Keadaan ini secara tidak langsung menurunkan nisbah C/N di bawah 25 berbanding dengan pencilan lain. Nisbah C/N ini biasanya dirujuk untuk menentukan kematangan kompos. Nisbah yang lebih rendah ini mungkin berkait dengan kematangan kompos yang berlaku lebih awal berbanding dengan pencilan *Trichoderma* yang lain.

Jadual 1. Saliniti (EC), pH, kelembapan dan kandungan abu yang dicerap pada minggu kelapan untuk empat pencilan *Trichoderma* terpilih yang diuji dan kawalan

No. Pencilan <i>Trichoderma</i>	EC (mS/cm)	pH	Kelembapan (%)	Abu (%)
1613	0.62 ± 0.03	8.89 ± 0.04	80.33 ± 0.60	18.87 ± 0.02
1614	1.59 ± 0.52	9.23 ± 0.06	74.71 ± 4.27	19.91 ± 0.04
1509	0.79 ± 0.08	8.90 ± 0.04	79.16 ± 1.22	19.37 ± 0.05
1633	0.78 ± 0.03	8.90 ± 0.06	79.12 ± 0.70	18.30 ± 0.02
Kawalan	0.96 ± 0.24	8.76 ± 0.10	76.83 ± 1.75	19.22 ± 0.08

Jadual 2. Peratus kandungan nitrogen dan karbon dan juga nisbah C/N bagi minggu kosong dan minggu kelapan bagi empat pencilan *Trichoderma* terpilih dan kawalan

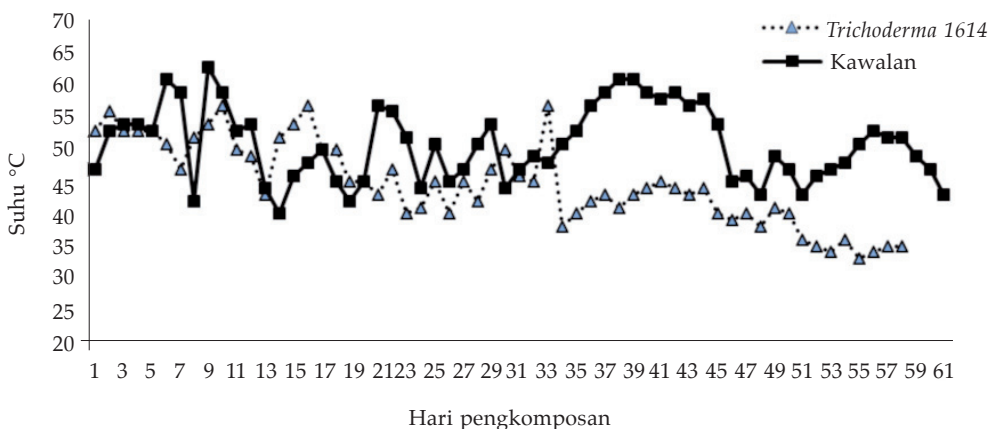
No. pencilan <i>Trichoderma</i>	Kandungan keseluruhan N (%)		Kandungan keseluruhan C (%)		Nisbah C/N	
	Minggu kosong	Minggu kelapan	Minggu kosong	Minggu kelapan	Minggu kosong	Minggu kelapan
1613	0.52 ± 0.05	0.72 ± 0.03	28.53 ± 0.62	19.34 ± 1.30	54.82	26.98
1614	0.66 ± 0.04	0.94 ± 0.12	28.05 ± 0.85	23.03 ± 0.34	42.37	24.38
1509	0.60 ± 0.05	0.72 ± 0.02	26.13 ± 1.38	21.95 ± 0.73	43.89	30.66
1633	0.69 ± 0.02	0.70 ± 0.01	27.42 ± 1.21	21.63 ± 1.82	39.74	31.04
Kawalan	0.60 ± 0.01	0.73 ± 0.09	26.61 ± 0.91	21.53 ± 2.08	44.70	29.42

Keberkesanan *Trichoderma* 1614 sebagai agen pengomposan sisa landskap

Kajian keberkesanan pencilan *Trichoderma* 1614 ke atas sisa landskap juga telah dijalankan. Secara amnya, suhu tertinggi yang dicapai oleh timbunan kompos yang dirawat dengan pencilan *Trichoderma* 1614 adalah lebih rendah iaitu 57 °C berbanding dengan suhu tertinggi kawalan yang mencapai sehingga 63 °C (Rajah 3). Suhu timbunan yang dirawat dan kawalan menunjukkan corak bacaan yang naik turun sepanjang pengomposan. Walau bagaimanapun, selepas 34 hari pengomposan berlaku, suhu bagi timbunan sisa yang dirawat dengan pencilan *Trichoderma* 1614 hanya naik turun sekitar 40 – 45 °C sehingga hari ke-50 manakala suhu kawalan pula sekitar 63 – 43 °C. Selepas 50 hari, suhu terus berada di bawah 40 °C. Kajian ini menunjukkan rawatan pencilan *Trichoderma* 1614 ke atas sisa landskap boleh mempercepatkan proses pematangan kompos. Ciri-ciri lain yang dikaji seperti nisbah C/N, pH, saliniti (EC), toksisiti dan kehadiran patogen adalah hampir setara untuk kedua-duanya (Jadual 3), tetapi kelebihan *Trichoderma* 1614 adalah kompos matang lebih awal menunjukkan pengomposan berlaku lebih cepat.

Ujian pencilan *Trichoderma* 1614 sebagai agen kawalan biologi

Pencilan *Trichoderma* 1614 juga telah diuji bagi menentukan kebolehannya sebagai agen kawalan biologi. Secara amnya, pencilan ini mempunyai kebolehan untuk merencat perkembangan mikroorganisma yang diuji iaitu *Lasiodiplodia theobromae* dengan 72% perencatan dan *Colletotrichum gloeosporioides* dengan 42% perencatan (Jadual 4). *Lasiodiplodia theobromae* adalah penyebab penyakit reput buah (fruit rot) pada betik, mangga, pisang, koko, belimbing dan lain-lain sementara *Colletotrichum gloeosporioides* adalah penyebab penyakit antraknos



Rajah 3. Perubahan suhu semasa proses pengomposan sisa pertanian yang dirawat dengan pencilan *Trichoderma* 1614 dan kawalan

Jadual 3. Kualiti kompos matang daripada timbunan sisa landskap yang dirawat dengan pencilan *Trichoderma* 1614 dan kawalan

Ciri	<i>Trichoderma</i> 1614	Kawalan
pH	7.9	7.85
C/N	12.0	13.0
EC	1080 uS/cm	1100 uS/cm
Percambahan benih (toksisiti)	100 %	100 %
Patogen		
<i>Salmonella</i> sp.	Tidak dikesan	Tidak dikesan
<i>Escherichia coli</i>	Tidak dikesan	Tidak dikesan

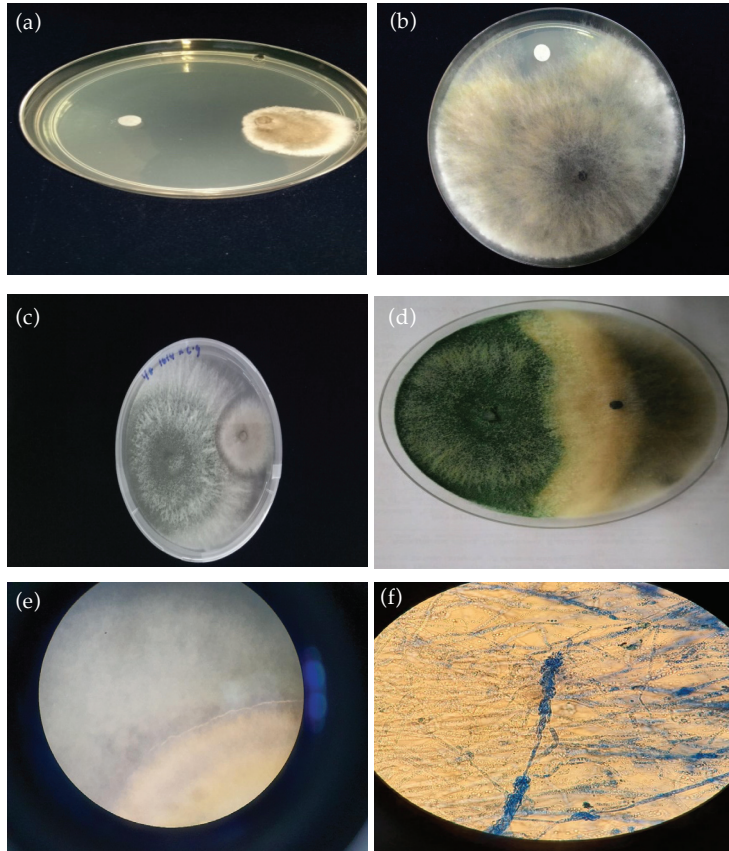
pada betik, cili, pisang, terung dan lain-lain. Walaupun begitu, jika dibandingkan dengan pencilan yang lain iaitu 1447, 1484, 1514, 1415 dan 1555 (spesies *Trichoderma* berbeza), keupayaan pencilan *Trichoderma* 1614 untuk mengawal patogen penyakit adalah agak rendah. Mekanisme untuk mengawal dua patogen ini adalah berbeza, iaitu pencilan *Trichoderma* 1614 menunjukkan kesan antogonistik ke atas *Colletotrichum gloeosporioides* dan lebih bersifat sebagai parasit dan pesaing ke atas *Lasiodiplodia theobromae* [Gambar 4(c) dan (d)]. Jika dilihat daripada bahagian bawah pering petri, terdapat satu kawasan yang menebal seolah-olah membentuk halangan antara patogen dan pencilan *Trichoderma* 1614 [Gambar 4 (e)]. Manakala di bawah mikroskop pula, terdapat pembentukan hifa yang tumbuh dan seolah-olah membelit atau mencekik hifa yang lain. Penemuan ini selari dengan mekanisme *Trichoderma viride* untuk mengawal patogen penyakit bagi tanaman koko.

Penghasilan pukal

Terdapat tiga kaedah yang boleh digunakan untuk penghasilan pukal pencilan *Trichoderma* 1614 iaitu secara fermentasi pepejal, fermentasi tenggelam atau teknik dwifasa (Jadual 5 dan Gambar 5). Fermentasi pepejal boleh dilakukan dengan menggunakan substrat beras hancur, dedak gandum, dedak beras

Jadual 4. Perbandingan ciri kompos yang terhasil daripada sisa landskap yang dirawat dengan pencilan *Trichoderma* 1614 dan kawalan

Pencilan	Peratus perencatan (%)	
	<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>
Sikloheksimida (kawalan)	17	78
<i>Trichoderma</i> 1447	94	67
<i>Trichoderma</i> 1484	70	60
<i>Trichoderma</i> 1514	85	81
<i>Trichoderma</i> 1415	77	62
<i>Trichoderma</i> 1555	89	59
<i>Trichoderma</i> 1614	72	46



Gambar 4. Kesan cycloheximide ke atas *Colletotrichum gleosporioides* (a), kesan cycloheximide ke atas *Lasiodiplodia theobromae* (b), kesan pencilan *Trichoderma* 1614 ke atas *C. gleosporioides* (c), kesan pencilan *Trichoderma* 1614 ke atas L B2), mekanisme perencatan oleh *Trichoderma* ke atas kulat patogen (e) dan keadaan apabila hifa *Trichoderma* 'mencekik' patogen penyakit (f)

dan pelbagai bijirin. Ketiga-tiga teknik penghasilan pukal dimulakan dengan kultur tulen yang berumur lima sehingga tujuh hari. Bagi fermentasi pepejal, spora yang dikikis dari atas piring petri boleh digaul terus ke atas substrat yang dipilih. Kelembapan substrat (beras hancur dan dedak gandum) yang sesuai untuk pertumbuhan adalah sebanyak 40%. Dalam tempoh dua sehingga tiga hari, biasanya pencilan *Trichoderma* 1614 tumbuh dan mengkolonisasi substrat yang dipilih. Biasanya akan terdapat sedikit kenaikan suhu semasa fermentasi pepejal berlaku dan substrat perlu digaul semula bagi membolehkan suhu turun dan pencilan *Trichoderma* 1614 tumbuh dengan rata. Apabila tiada lagi peningkatan suhu, kebiasaannya dikesan selepas lima hari, kulat boleh disimpan untuk kegunaan seterusnya. Penggunaan bahan lengai sebagai pembawa semasa penyimpanan boleh meningkatkan jangka hayat pencilan *Trichoderma* 1614.

Jadual 5. Perbezaan antara fermentasi pepejal dan fermentasi tenggelam bagi pencilan *Trichoderma* 1614

	Fermentasi pepejal	Fermentasi tenggelam
Substrat digunakan	Pepejal (dedak beras, dedak gandum, beras hancur dan tongkol jagung hancur, dan bijirin lain)	Cecair (menggunakan medium asas/tersedia/ formulasi sendiri)
Ketebalan substrat	Ketebalan maksimum bagi pertumbuhan yang baik ialah 0.5 cm	Mengikut saiz sistem fermentasi (jika disediakan di dalam kelalang kon, perlu ada ruang udara yang bersesuaian)
Masa daripada penyediaan kultur tulen hingga hasil akhir	5 – 7 hari kultur tulen 3 – 5 hari di atas substrat pepejal 1 – 2 hari jika ingin disimpan untuk satu jangkamasa	5 – 7 hari kultur tulen 7 – 10 hari kultur dalam fermentasi tenggelam Tempoh minimum lima hari, bergantung kepada kaedah pengeringan dan ketebalan miselium yang dikeringkan
Substrat pembawa	Tidak semestinya diperlukan (<i>optional</i>)	Perlu (kadang kala boleh digunakan untuk membantu mempercepatkan pengeringan)
Tempoh pengeringan	Tiada	3 – 5 hari (<i>air-dried</i>)
Pertumbuhan	Kulat tumbuh dengan cara mengkolonisasi substrat dan menghasilkan spora	Kulat tumbuh secara individu dan/atau membentuk pelet miselium
Suhu	Terdapat peningkatan suhu sehingga 40 °C	Tiada peningkatan suhu

Bagi fermentasi tenggelam, pencilan *Trichoderma* 1614 memerlukan antara tujuh sehingga sepuluh hari untuk dituai. Dalam tempoh ini, pencilan *Trichoderma* 1614 biasanya menghasilkan pelet miselium, spora dan *clamydospora*. *Trichoderma* 1614 yang dituai, ditapis dan kemudiannya dicampurkan dengan bahan lengai dan dikeringkan sehingga mencapai kelembapan 20 – 30% untuk disimpan dan kegunaan seterusnya. Sementara itu, untuk kaedah dwifasa pula, pelet miselium yang dihasilkan ditapis, dikisar dan digaul ke dalam substrat pepejal. Proses ini perlu dilakukan dengan berhati-hati kerana jika miselium tadi terlampau basah, pertumbuhan pencilan *Trichoderma* 1614 akan terganggu. Biasanya dalam keadaan terlalu basah, bakteria atau yis akan turut membiak dan menyebabkan produk berbau masam.



Gambar 5. (a) Beras hancur yang telah dibasuh dan sedia untuk disteril, (b) proses mengikis pencilan *Trichoderma* 1614, (c) dulang aluminium yang digunakan untuk meletakkan beras yang telah disteril, (d) pencilan *Trichoderma* 1614 yang telah mengkolonisasi beras hancur dan (e) *Trichoderma* sp. yang sedia digunakan

Kesimpulan

Pencilan *Trichoderma* 1614 boleh merembeskan enzim seperti *mannanase*, *sellulase* dan *xylanase*. Ia boleh digunakan untuk mengompos jerami padi dan sisa landskap. Jerami padi yang dikompos dengan pencilan *Trichoderma* 1614 menghasilkan kompos yang mempunyai peratus N dan pH yang tinggi berbanding dengan kompos yang dihasilkan dengan pencilan yang lain. Ini menunjukkan kompos yang dihasilkan dengan menggunakan pencilan ini berpotensi digunakan untuk merawat tanah. Rawatan pencilan *Trichoderma* 1614 ke atas sisa landskap pula menunjukkan ia mampu mempercepatkan proses pengomposan 24 hari lebih awal berbanding dengan kawalan dengan kualiti kompos yang dihasilkan adalah hampir sama. Ini bermakna, pencilan ini boleh digunakan untuk tujuan pengomposan pantas (*rapid composting*). Selain itu, pencilan ini

juga mempunyai kebolehan untuk mengawal *Colletotrichum gloeosporioides* dan *Lasiodyplodia theobromae*. Penghasilan pukal kulat ini boleh dilakukan dengan mudah menggunakan kaedah fermentasi pepejal. Sebagai kesimpulan, pencilan *Trichoderma* 1614 boleh dimajukan dan dibangunkan sebagai produk yang mempunyai dwifungsi iaitu pereput dan juga agen kawalan penyakit. Dengan kebolehannya untuk mendegradasi jerami padi, produk yang dibangunkan mungkin boleh juga digunakan untuk tujuan degradasi *in-situ* di sawah, terutamanya apabila jerami padi tidak dapat dibawa keluar akibat basah. Walau bagaimanapun, beberapa kajian sokongan perlu dijalankan untuk mengukuhkan penemuan sedia ada seperti kadar yang diperlukan sehektar, kesan ke atas alam sekitar, tanaman, tanah dalam tempoh jangka masa panjang, formulasi dan kos pengeluaran.

Penghargaan

Projek ini dijalankan menggunakan peruntukan Pelaburan Dana Awam RMK-10, bawah kluster pertanian putih. Terima kasih kepada semua yang terlibat untuk menjayakan projek ini, Pn. Norzaimawati Aman Nejis, Cik Nor Samahah, Pn. Nur Khairunisha Mohd Azhar, Pn. Nur Alyani Shakri, Cik Nur Liyana Zulkifli dan lain-lain yang terlibat secara langsung dan tidak langsung untuk membangunkan teknologi yang berkaitan.

Bibliografi

- Błaszczuk, L., Siwulski, M., Sobieralski, K., Lisiecka, J. dan Jędrzycka, M. (2014). *Trichoderma* spp. Application and prospects for use in organic farming and industry. *Journal of Plant Protection Research* 54(4): 309 – 317
- CABI (2020). Invasive species compendium. Wallingford, UK: CAB International. Diambil pada 11 Mac 2020 dari www.cabi.org/isc.
- Haddadin, M.S.Y., Haddadin, J., Arabiyat, O.I. dan Hattar, B. (2009). Biological conversion of olive pomace into compost by using *Trichoderma harzianum* and *Phanerochaete chrysosporium*. *Bioresource Technology*, 100(20), 4773 – 4782. Diambil dari <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.04.047>
- Harman, G.E., Howell, C.R., Viterbo, A., Chet, I. dan Lorito, M. (2004). *Trichoderma* spp. Opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews. Microbiology* 2(1): 43 – 56
- Marx, I.J., Van Wyk, N., Smit, S., Jacobson, D., Viljoen-Bloom, M. dan Volschenk, H. (2013). Comparative secretome analysis of *Trichoderma asperellum* S4F8 and *Trichoderma reesei* Rut C30 during solid-state fermentation on sugarcane bagasse. *Biotechnology for Biofuels*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/1754-6834-6-172>
- Nurhidayati, A. dan Leon, K.M. (2012). Malaysia's biomass potential. Diambil pada 1 Mac 2020 dari <http://www.besustainablemagazine.com/cms2/malaysias-biomass-potential/>
- Novy, V., Nielsen, F., Seiboth, B. dan Nidetzky, B. (2019). The influence of feedstock characteristics on enzyme production in *Trichoderma reesei*: A review on productivity, gene regulation and secretion profiles. *Biotechnology for Biofuels*. BioMed Central Ltd. Diambil dari <https://doi.org/10.1186/s13068-019-1571-z>

- Nur Samahah, M.Z. dan Tosiah, S., (2016). Diversity of *Trichoderma* from Tasik Kenyir. *National Center for Biotechnology Information (NCBI)*. Diambil dari <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/>.
- Seglah, P. A., Wang, Y., Wang, H., dan Bi, Y. (2019). Estimation and efficient utilization of straw resources in Ghana. *Sustainability (Switzerland)*, 11(15). Diambil dari <https://doi.org/10.3390/su11154172>
- Siddiquee, S., Shafawati, S.N. dan Naher, L. (2017). Effective composting of empty fruit bunches using potential *Trichoderma* strains. *Biotechnology Reports*, 13, 1 – 7. Diambil dari <https://doi.org/10.1016/j.btre.2016.11.001>
- Villamizar-Gallardo, R.A., Ortíz-Rodríguez, O.O. dan Escobar, J.W. (2017) Symbiotic and endophytic fungi as biocontrols against cocoa (*Theobroma cacao* L.) phytopathogens. *Summa Phytopathologica*, v.43, n.2, m.s. 87 – 93

Ringkasan

Malaysia menghasilkan sejumlah 168 juta tan biojisim setahun yang terdiri daripada sisa pertanian dan makanan. Pereputan secara semula jadi biojisim ini biasanya mengambil masa yang lama. Sisa tanaman yang dibawa keluar dari kawasan pertanian pula akan menyebabkan tanah kehilangan nutrien. Pada masa yang sama, kulat *Trichoderma* dikatakan mempunyai pelbagai fungsi yang baik, antaranya adalah untuk pereputan sisa pertanian. Kajian telah dijalankan untuk mencari *Trichoderma* yang sesuai digunakan sebagai agen pengomposan. Sejumlah 102 pencilan *Trichoderma* telah diasingkan daripada jerami dan ricihan kayu-kayan. Daripada 102 pencilan yang telah diasingkan, 13 telah diuji untuk kebolehan penghasilan enzim *mannanase*, *sellulase* serta *xylanase* dan keupayaannya mereputkan jerami padi di makmal. Berdasarkan kebolehan menghasilkan enzim dan ciri-ciri pertumbuhan yang stabil (morfologi tidak berubah-ubah di atas medium pertumbuhan), pencilan *Trichoderma* 1614 telah dipilih dan kajian seterusnya menunjukkan ia boleh mempercepatkan pengomposan sehingga 24 hari lebih awal berbanding dengan kawalan. Pencilan *Trichoderma* 1614 juga mempunyai potensi untuk mengawal patogen tanaman seperti *Lasioidiplodia theobromae* dan *Colletotrichum gloeosporioides* dengan perencatan masing-masing ialah 72% dan 46%. Teknik fermentasi pepejal didapati sesuai untuk penghasilan pencilan kulat ini secara pukal.

Summary

Malaysia produced a total of 168 million tons of biomass per year, consisting of agriculture and food waste. The natural degradation of agricultural waste or biomass takes a long time to complete. Agricultural wastes that were removed from the agricultural system will cause nutrient loss from the soil. Simultaneously, the *Trichoderma* fungus is said to have various good functions including as degraders for agricultural residues. Studies have been carried out to search for *Trichoderma* species that were suitable for use as a composting agent. A total of 102 *Trichoderma* isolates have been isolated from straw and wood chips. However, only 13 isolates were tested for their ability to produce enzymes namely mannanase, cellulase and xylanase, and their ability to degrade rice straw under laboratory scale. Based on the ability to produce enzymes and containing stable growth characteristics (no changes in morphology when continuously grown on culture media), *Trichoderma* isolate 1614 was chosen. Subsequent studies showed that the isolate accelerated composting process up to 24 days earlier as compared to control. *Trichoderma* isolate 1614 also has the potential to suppress the growth of plant pathogens such as *Lasiodiplodia theobromae* and *Colletotrichum gloeosporioides* with 72% and 46% inhibition, respectively. For mass production, a solid-state fermentation technique was found to be suitable for the fungus.

Pengarang

Tosiah Sadi

Pusat Penyelidikan Sains Tanah, Air dan Baja,
Ibu Pejabat MARDI, Persiaran MARDI-UPM,
43400 Serdang, Selangor
E-mel: tosiah@mardi.gov.my

Mohammad Hariz Abdul Rahman dan Nurul Ain Abu Bakar
Pusat Penyelidikan Agrobiodiversiti dan Persekitaran,
Ibu Pejabat MARDI, Persiaran MARDI-UPM,
43400 Serdang, Selangor