

## Potensi Sungkup Plastik daripada Filem Selulosa Terjana Semula: Suatu Ulasan (Potential of Plastic Mulch From Regenerated Cellulose Film: A Review)

NURSYAMIMI AHMAD GHAZALI<sup>1</sup>, KUSHAIRI MOHD SALLEH<sup>2,3\*</sup>, NUR FATHIHAH JAFRI<sup>1</sup> & SARANI ZAKARIA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Jabatan Fizik Gunaan, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia*

<sup>2</sup>*Bioresource Technology Division, School of Industrial Technology, Universiti Sains Malaysia, Penang 11800, Malaysia*

<sup>3</sup>*Renewable Biomass Transformation Cluster, School of Industrial Technology, Universiti Sains Malaysia, Penang 11800, Malaysia*

*Diserahkan: 9 Julai 2021/Diterima: 31 Mac 2022*

### ABSTRAK

Sungkup ialah bahan yang dihamparkan pada permukaan tanah, digunakan secara khusus untuk pertanian. Penggunaan sungkup plastik (SP) dalam bidang pertanian masih berterusan di seluruh dunia sejak berpuluh tahun yang lalu. Ia merupakan teknologi penting dalam pertanian yang meningkatkan hasil dan kualiti tanaman dengan penggunaan input air yang rendah. Bahan SP telah dikelaskan kepada dua kumpulan iaitu sungkup berasaskan petroleum dan sungkup berasaskan bahan semula jadi daripada sisa pertanian. Tanah tanpa sungkup mendorong kepada beberapa masalah seperti tanggapan zarah, adangan permukaan, kerakan dan padatan. Namun, penggunaan SP yang berlebihan dalam pertanian moden telah mengancam kelestarian keseluruhan ekosistem yang disebabkan oleh pengekalan sisa plastik pada persekitaran daratan dan akuatik. Oleh yang demikian, rantaian tanaman termasuklah tumbuhan, tanah dan air serta manusia juga terdedah kepada ancaman ini. Permasalahan ini telah mendorong kepada penghasilan sungkup plastik terbiodegradasi (SPB) seperti filem selulosa terjana semula (FSTS). Maka, ulasan kajian terhadap potensi SPB khususnya FSTS yang merangkumi fizikal, mekanikal, kimia dan sifat biodegradasi menjadi fokus utama dalam penulisan makalah ini.

Kata kunci: Penghasilan; produk berasaskan biosumber; produk hijau; sifat fizikal; sifat kimia; sifat mekanikal

### ABSTRACT

Mulch is a material spread on the soil surface, explicitly used for agriculture. The use of plastic mulch (PM) in agriculture has continued worldwide for the past decades. It is an important technology in agriculture that improves crop yields and quality with low water input consumption. PM materials have been classified into two groups, petroleum-based mulches and mulches based on natural materials or agricultural waste. Soil without mulch leads to several problems such as particle detachment, surface sealing, crusting, and soil compaction. However, the excessive use of PM in modern agriculture has threatened the sustainability of the entire ecosystem due to the retention of plastic waste in terrestrial and aquatic environments. Therefore, crop chains including plants, soil, and water and humans are also vulnerable to this threat. This problem has led to biodegradable plastic mulch (BPM) production, such as regenerated cellulose film (RCF). Therefore, a review on BPM, specifically RCF based on their physical, mechanical, chemical and biodegradable properties, is the main focus in writing this paper.

Keywords: Bioresource based products; chemical properties; mechanical properties; green products; mechanical properties; physical properties; production

### PENGENALAN

Menurut Persatuan Plastikultur Amerika, "Penggunaan plastik dalam pertanian, sebahagian besarnya digunakan sebagai sungkup plastik (SP), titisan pengairan pita, penglitup baris, terowong rendah, terowong tinggi, dulang

plastik dan pasu yang digunakan dalam pemindahan dan pendasaran hasil tanaman" (Adhikari et al. 2016). Filem SP telah dikenali secara meluas kerana peranan pentingnya dalam membentuk sawar fizikal untuk mengehadkan penyejatan air tanah, mengawal rumpai,

mengekalkan struktur tanah dan melindungi tanaman daripada pencemaran tanah dan seterusnya menggalakkan pertumbuhan sayur-sayuran hortikultur (Steinmetz et al. 2016). SP juga mengekalkan kelembapan dan haba tanah, mengelakkan hakisan tanah dan pertumbuhan rumpai. Selain itu, SP dapat menggalakkan perkembangan tanaman dan keawalan buah-buahan serta mengurangkan permintaan air, racun herba dan keperluan baja yang sekali gus memberi sumbangan kepada pertanian lestari (Kasirajan & Ngouajio 2012). Namun, penggunaan filem plastik secara meluas dalam pertanian terutamanya SP berasaskan petroleum telah menghasilkan sejumlah besar sisa plastik yang tidak terurai. Keadaan sisa plastik boleh berubah-ubah bergantung kepada aktiviti organisma, aliran air, ciri fizikal dan kimia serta keadaan cuaca di dalam tanah. Sisa plastik yang terhasil boleh menjadi mikroplastik dan memasuki rantai makanan yang memberikan kesan kepada kesihatan global (Chae & An 2018).

Polietilena berketumpatan rendah (PEKR) adalah plastik yang sering digunakan untuk penghasilan SP kerana mudah diproses, murah, sangat tahan lama dan mudah lentur. Walau bagaimanapun, penggunaan PE dengan jenis plastik yang tidak terbiodegradasi yang meluas telah mendorong kepada pencemaran sekitaran yang serius (Steinmetz et al. 2016). SP berasaskan PEKR ini tidak pernah dibuang sepenuhnya daripada medan tanaman dan hanya meninggalkan sisa yang kekal di dalam tanah selama beberapa dekad (Ramos et al. 2015). Di China, penggunaan SP berasaskan PEKR dalam jangka masa yang lama mendorong kepada penumpukan sisa plastik dengan anggaran kira-kira 50-60 kg hm<sup>-2</sup> pada permukaan atas tanah (0-20 cm), yang boleh merencatkan pertumbuhan tanaman (Liu et al. 2014). Secara kimia, serpihan PE juga akan menjejaskan struktur fizikal dan rantai makanan di dalam tanah.

Sungkup semula jadi diterbitkan sama ada daripada haiwan ataupun tumbuhan. SP berasaskan tumbuhan semula jadi lebih mendapat perhatian kerana kelebihan yang mudah terbiodegradasi di dalam tanah. Dilaporkan bahawa aplikasi menggunakan SP berasaskan tumbuhan didapati dapat mengurangkan pertumbuhan rumpai, serangan perosak, mengawal penyakit bawaan tanah dan seterusnya mengurangkan penggunaan racun perosak dan baja. Jika digunakan sebaiknya, ia boleh menawarkan kesemua manfaat setanding dengan SP berasaskan petroleum. Sungkup semula jadi daripada sisa pertanian terbukti membantu dalam mengekalkan jirim dan keadaan gembur tanah organik. Ia juga menyediakan makanan dan pelindung kepada cacing tanah dan biota

tanah lain yang diingini (Doran 1980). SP semula jadi daripada sisa pertanian termasuk jerami, kompos, keratan rumput dan daun. Namun begitu, proses penghasilan SP jenis ini memerlukan kos yang tinggi serta dibayangi oleh kelebihan SP berasaskan sumber petroleum (Liu et al. 2021; Ranjan et al. 2017). Oleh itu, SP yang terhasil daripada selulosa yang terlarut yang dijana semula kepada filem selulosa terjana semula (FSTS) dilihat sebagai alternatif yang mampu mengimbangi sifat keduanya pada kos penghasilan yang rendah dan bersifat lestari.

Ulasan kajian ini menggariskan potensi SP terbiodegradasi daripada FSTS untuk digunakan dalam sektor pertanian. Walaupun FSTS mempunyai potensi yang besar dalam pasaran SP, namun ia masih belum dipromosikan dengan baik. Sorotan kajian sebelum ini banyak menceritakan tentang potensi sumber yang boleh diperbaharui untuk menghasilkan biopolimer (Sharif & Hoque 2019), namun kurang kajian mengenai sumber yang boleh diperbaharui untuk sungkup pertanian. Makalah ini akan mengulas secara komprehensif potensi SP daripada FSTS, termasuklah sifat fizikalnya, mekanikal, kimia, sifat biodegradasi serta kesesuaiannya untuk SP pertanian.

## BAHAN UNTUK SUNGKUPAN

### BAHAN BERASASKAN PETROLEUM

Plastik berasaskan petroleum juga dikenali sebagai Plastik yang bermaksud 'ia dapat dibentuk', yang merupakan ciri utama plastik yang menjadikannya serbaguna dalam pelbagai aplikasi (Serrano-Ruiz et al. 2021). Plastik ini telah menggantikan banyak bahan semula jadi dalam aplikasi sebelumnya. Dengan sifatnya yang sangat baik, penggunaannya yang meluas telah ditemui pada setiap bidang kehidupan manusia. Walau bagaimanapun, kebimbangan yang tinggi terhadap plastik sintetik dan penambahan jumlah sisa plastik yang ditemui di tempat pembuangan sampah dan di lautan telah menjadi perhatian sejagat. Penggunaan plastik yang semakin meluas telah memberi kesan yang mendalam terhadap semua aktiviti manusia dan kehidupan kita. Perkembangan teknologi terhadap penghasilan plastik telah mendorong kepada penggunaan polimer sintetik untuk pelbagai tujuan dan dalam pasaran seperti pembungkusan, pembinaan, automotif, elektronik, barang keperluan rumah dan pertanian (Andrady & Neal 2009). Dalam pertanian, penggunaan berleluasa SP berasaskan petroleum seperti PEKR, adalah kerana pemrosesan yang mudah dan berkos rendah yang memenuhi sifat fizikal dan optikal sungkup. Sebagai contoh ketahanan

tinggi, sifat regangan mekanikal yang baik, ketahanan jangka masa panjang dan kebolehtelapan air (Serrano-Ruiz et al. 2021). Sungkup plastik polietilena (PE) digunakan secara meluas untuk pengeluaran tanaman di Amerika Syarikat dan seluruh dunia. Walau bagaimanapun, pengkalan penghasilan tanaman melalui penggunaan sungkup plastik PE telah banyak dipersoalkan kerana sifatnya yang tidak boleh diperbaharui, bahan asasnya daripada petroleum, yang secara umumnya hanya digunakan untuk satu musim tumbuh dan tidak dapat dikitar semula pada sebahagian besar wilayah. Kitar semulanya yang terhad kerana sungkup yang digunakan mungkin tercemar dengan tanah dan agrokimia, bungkusan peralatan khusus yang diperlukan sebelum mengangkut dan kemudahan untuk dikitar semula sering berada pada jarak jauh (Corbin et al. 2013).

Kebanyakan filem SP terdiri daripada polietilena (PE), polivinil klorida serta bahan berasaskan petroleum yang lain yang terbukti sukar untuk diuraikan. Setelah tanaman dituai, kebanyakan sisa SP kekal pada permukaan di dalam tanah dan hal ini mendorong kepada ketelapan tanah yang rendah dan melarat kepada pencemaran yang serius (Ning et al. 2021). Malahan kini plastik juga telah menjadi salah satu komponen tanah yang jelas mengganggu gugat kestabilan rantaian makanan serta kesihatan manusia jagat. Kekangan utama kepada penggunaan SP komersial berasaskan petroleum sudah semestinya sukar dilupuskan selain dibantu oleh sumbernya yang bersifat tidak terbaharu. Alternatif kepada SP berasaskan petroleum bukan hanya perlu bersifat terbiodegradasi serta setanding sifat fizikal dan mekanikalnya, ia juga perlu bersifat keterbaharuan, kos yang efisien serta mudah digunakan. Maka bahan sungkup berasaskan sumber semula jadi dilihat sebagai alternatif yang mapan dalam mengatasi masalah ini.

#### BAHAN SEMULA JADI DARIPADA SISA PERTANIAN

Sisa pertanian merupakan bahan terbiodegradasi semula jadi terawal yang digunakan untuk sungkup pertanian yang boleh terurai secara semula jadi. Ia juga memainkan peranan penting dalam mempromosikan sumber kitar semula. Sebagai contoh serpihan kulit kayu, keratan rumput, gandum atau jerami padi, dedaun, kompos, sekam padi, habuk gergaji dan sebagainya digunakan sebagai bahan sungkup tanaman. Penguraianya yang berkadar dengan masa meningkatkan daya tahan air tanah. Berbanding dengan SP berasaskan petroleum, penguraian sungkup daripada sisa pertanian menyediakan nutrien kepada tanah yang terjejas dan meningkatkan

kecekapan penggunaan air secara tidak langsung. Lapisan sungkup semula jadi juga terbukti mampu menyekat pertumbuhan rumput dengan menghalang penembusan cahaya ke permukaan tanah (Ramakrishna et al. 2006; Ranjan et al. 2017).

Jerami merupakan sisa pertanian yang paling banyak digunakan sebagai bahan sungkupan. Sungkupan jerami dengan nilai 2.5 t/ha atau lebih, dapat meningkatkan kelembapan tanah, kandungan nitrat tanah dan meningkatkan hasil gandum durum di Mediterranean (Stagnari et al. 2014). Akhtar et al. (2018) telah melaporkan sungkupan jerami mampu meningkatkan kesuburan tanah dan jumlah enzim tanah secara ketara. Pemusnahan perumahan rumput merupakan satu lagi peranan penting yang diberikan oleh sungkup sisa pertanian. Satu kajian lapangan daripada Jerman menunjukkan bahawa kombinasi sungkup sisa kayu dan tanaman campuran sesuai digunakan untuk mengurangkan infestasi rumput (Lal 1974; Wang et al. 2012).

Kulit kayu adalah bahan sungkup terbaik kerana ia mengandungi kelembapan yang tinggi dan dapat mengekalkan kelembapan tersebut untuk jangka masa yang lebih panjang. Hal ini secara tidak langsung dapat membekalkan kelembapan untuk pertumbuhan tanaman. Kulit kayu biasanya digunakan untuk tumbuhan dan landskap, dan sebaiknya dielakkan untuk digunakan dalam ladang sayuran kerana sifatnya yang berasid. Walau bagaimanapun, sungkup jenis ini sangat sesuai digunakan untuk melindungi dan memberikan kelembapan yang diperlukan kepada tanah (Ranjan et al. 2017).

Keratan rumput merupakan salah satu bahan sungkup yang mudah dan paling banyak tersedia dalam pertanian. Keratan rumput segar yang digunakan di ladang menjadikannya mudah terurai dan peratusan nitrogen dalam tanah juga meningkat. Terdapat beberapa jenis keratan rumput antaranya keratan rumput hijau atau segar dan rumput kering. Kebiasaannya, keratan rumput hijau tidak digunakan pada musim hujan kerana ia mungkin memberi peluang kepada pembangunan sistem akarnya sendiri yang akan membahayakan pertumbuhan tanaman. Oleh sebab itu, rumput kering sentiasa menjadi pilihan untuk digunakan sebagai bahan sungkupan (Mutetwa & Mtaita 2014; Ranjan et al. 2017).

Kompos adalah sungkup dan perapi tanah yang baik. Ia dapat disediakan dengan mudah di rumah melalui pengkomposan pelbagai jenis bahan buangan seperti daun, jerami, rumput dan sisa tanaman. Ia meningkatkan sifat fizikal, kimia dan biologi tanah dan meningkatkan kandungan karbon serta keupayaan tanah

untuk menyimpan air. Umumnya, kompos adalah bahan terbaik bagi meningkatkan kesihatan tanah. Namun begitu, ia tidak dapat digunakan bagi tanaman sayuran kerana kandungan nitrogen terlalu tinggi dan mungkin mengandungi biji rumpai yang akan menjejaskan tanaman. Penggunaan kompos terbaik ialah semasa penyediaan landasan atau sebagai 'baja atas' yang tipis pada awal musim. Ia digunakan sebagai sungkup dalam beberapa tanaman suai nutrien seperti bunga mawar (Ranjan et al. 2017).

Berdasarkan jenis-jenis bahan sungkupan daripada sisa pertanian yang digariskan, penguraian yang berlaku secara semula jadi disertai dengan pembekalan bahan nutrien kepada tanah merupakan kekuatan utama berbanding SP berasaskan petroleum. Namun, sisa pertanian yang berlebihan pada permukaan tanah juga boleh menyebabkan berlakunya fenomena pembajaan tanah yang berlebihan serta merubah pH semula jadi tanah. Sungkupan daripada sisa pertanian memberi kelebihan kerana membenarkan cahaya menembusi ke permukaan tanah dan menyebabkan infestasi rumpai berlaku. Meskipun sungkupan daripada sisa pertanian mudah digunakan tetapi ia tidak mudah untuk dijaga. Disebabkan ini, SP berasaskan petroleum tetap menjadi pilihan utama petani, namun ia menyukarkan penyingkiran sisa plastik dalam sektor pertanian. Oleh itu, alternatif yang bersifat mudah dijaga dan memudahkan penyingkiran sisa plastik harus diperkenalkan. Maka, FSTS yang bersumberkan daripada sisa pertanian yang mempunyai sifat yang sama seperti SP berasaskan petroleum serta penguraian yang boleh kawal dilihat sebagai alternatif yang terbaik dalam meleraikan masalah ini.

#### SELULOSA DAN FILEM SELULOSA TERJANA SEMULA

Selulosa merupakan komponen utama biojisim lignoselulosa yang bersifat terbiodegradasi dan mudah tersedia. Hal ini menjadikan selulosa sebagai alternatif mapan yang boleh diolah sifat fizikal, mekanikal, kimia dan sifat terbiodegradasinya sebagai bahan sungkup untuk pertanian. Selulosa boleh dijumpai dan diekstrak daripada pelbagai sumber seperti kayu, kapas, tanaman, sisa makanan/ buangan pertanian dan bakteria. Jumlah selulosa yang tinggi dihasilkan pada setiap tahun telah digunakan dalam bidang yang pelbagai terutama dalam pembungkusan, tekstil, pertanian, rawatan air, pembinaan dan industri pulpa dan kertas (Gan et al. 2017; Vo et al. 2010). Pada masa kini, selulosa yang sering digunakan dalam industri ialah selulosa yang diterbitkan daripada kayu dan kapas (Klemm et al.

2005). Walau bagaimanapun, kayu adalah sumber semula jadi yang terhad daripada perspektif persekitaran kerana kitaran tumbuhan yang panjang dan kekurangan sumber kayu. Kapas pula cenderung digunakan dalam industri tekstil. Kebimbangan ini menggesa kepada lebih banyak penelitian sumber alternatif yang lain. Ini tidak bermakna selulosa bukan sumber yang mapan, kerana ia boleh diperolehi dengan mudah daripada sumber yang lain. Kenaikan nilai sisa tanaman dianggap sebagai strategi yang bermakna dan bernilai untuk memperoleh selulosa dan bahan berharga yang lain. Sebagai contoh, sisa pertanian dan sisa makanan seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS) (Amran et al. 2017), hampas tebu (Ghaderi et al. 2014), sisa sayuran (Perotto et al. 2018) dan kulit durian (Nur Aimi et al. 2015). Namun begitu, penggunaan selulosa secara terus untuk kegunaan sebagai SP masih terbatas disebabkan interaksi ikatan hidrogen yang kuat, orientasi molekul dan kehabluran tinggi yang menjadikannya tidak terlarut dalam pelarut biasa dan membataskan penggunaannya dalam beberapa aplikasi (Ai et al. 2021).

Meskipun begitu, selulosa boleh diubah suai secara kimia untuk menghasilkan selulosa terbitan seperti karboksimetil selulosa, xantat selulosa (Weißl et al. 2018), kuprammonium selulosa kompleks (Sayyed et al. 2019) selulosa metil (Perotto et al. 2018) dan selulosa hidroksietil. Selulosa terbitan ini mudah terlarut di dalam pelarut organik dan tak organik yang kemudiannya boleh dijana kepada produk yang pelbagai (Salleh et al. 2018). Selulosa juga boleh dilarutkan secara terus menggunakan pelarut seperti cecair ionik (ILs) yang merupakan kategori baru bagi garam lebur pada suhu bilik yang mempunyai keupayaan yang baik untuk melarutkan selulosa. Pelarut lain yang digunakan untuk melarutkan selulosa ialah akueus alkali/urea (contoh: NaOH/urea, LiOH/urea) (Azahari et al. 2017; Saidi et al. 2016) dan 60% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pada suhu -20 °C (Huang et al. 2016). Pelarutan selulosa adalah perlu bagi membolehkan pengolahan struktur kimianya kepada produk terjana semula yang lain. FSTS biasanya terhasil melalui proses pelarutan, penguapan dan mendakan selulosa dengan cecair ionik (ILs) atau akueus alkali/urea (Xia et al. 2016). Tambahan lagi, penghasilan filem jenis ini adalah lebih mudah dengan sifat kimianya yang kuat serta kestabilan sifat mekanikal yang baik untuk digunakan sebagai bahan sungkupan (Xu et al. 2020).

FSTS telah digunakan secara meluas dalam pelbagai bidang kerana pengolahan prestasinya yang semakin meningkat dan terbukti berkesan sebagai bahan pencegahan air buangan, rawatan pencemaran air bawah



tanah, peralatan perubatan, industri penyejatan dan bio-reaktor (Marichal-Gallardo et al. 2017; Wang et al. 2017). FSTS yang terhasil juga dapat menjerap logam berat, menjerap bahan pencemar organik, menunjukkan fungsi antibakteria dan bertindak sebagai pembawa ubat selepas pencantuman kumpulan berfungsi keseluruhan selulosa atau melakukan pengubah suaian fizikal yang lain. FSTS juga digunakan dalam pembungkusan hijau, penyalutan, peranti skrin paparan, bahan optoelektronik dan layar elektronik mudah lentur (Tran & Mututuvari 2016; Xu et al. 2020; Zhao et al. 2019). Oleh kerana ini, FSTS dilihat berpotensi digunakan sebagai filem SP untuk industri pertanian. Maka, pemahaman kepada sifat-sifat yang ditawarkan serta kesesuaiannya digunakan sebagai SP tanaman diulas pada seksyen berikutnya.

#### CIRI-CIRI YANG DITAWARKAN OLEH FILEM SELULOSA TERJANA SEMULA

Memahami sifat filem sungkup adalah penting dalam (i) merancang dan meningkatkan prestasi filem sungkup yang sedia ada dan yang baru; (ii) mengembangkan piawaian antarabangsa untuk memenuhi keperluan perundangan, komersial dan keperluan peraturan persekitaran. Piawaian yang direncana sewajarnya mudah difahami, dikelaskan dan ditegakkan untuk plastik sedia ada, tetapi kemunculan sistem polimer terbiodegradasi mungkin terbukti lebih mencabar dan memerlukan penyelidikan yang bernilai untuk mengetahui cara terbaik bagi mengembangkan piawai FSTS yang bermakna. Dalam bahagian ini akan dibincangkan sifat fizikal, mekanikal, kimia dan biodegradasi FSTS sebagai bahan sungkupan tanaman.

#### SIFAT FIZIKAL

Sifat utama yang perlu ada pada filem polimer untuk kegunaan SP adalah kebolehtelapannya terhadap gas/wap dan sifat kelegapannya. Secara amnya, keduanya tidak berkait secara langsung dan dipengaruhi oleh intrinsik kimia dan sifat fizikal SP serta faktor persekitaran ekstrinsik seperti tekanan dan tekanan separa, suhu dan kelembapan. Sifat fizikal FSTS untuk pertanian sungkup iaitu penghantaran wap air (PWA) dan kelegapan diulaskan dalam sub-seksyen ini.

##### i) Penghantaran wap air (PWA)

PWA merupakan salah satu petunjuk utama bagi menentukan keberkesanan SP untuk memulihara kelembapan tanah. Grewal et al. (2012) menunjukkan bahawa kebanyakan polimer daripada sumber yang

boleh diperbaharui mempunyai kebolehtelapan oksigen yang rendah, sementara kebolehtelapan wap air adalah urutan magnitud yang lebih tinggi daripada polimer dagangan berasaskan petroleum seperti PE dan polietilena tereftalat (PET).

Secara amnya, nilai PWA yang rendah bagi filem yang lebih kecil mencerminkan kemampuan pengekaln kelembapan tanah yang lebih baik untuk pertumbuhan tanaman, sementara kebanyakan filem terbiodegradasi berasaskan bahan biojisim mempunyai nilai PWA yang tinggi. PWA berkait rapat dengan proses penelapan yang berlaku melalui pelarutan aktif di mana molekul dipindahkan melalui kecerunan kepekatan dalam gerakan molekul rawak (Siracusa 2012). Jadual 1 menunjukkan perbandingan nilai PWA bagi PE dan FSTS dengan penggunaan bahan dan pelarut yang berbeza.

Bagi penghasilan FSTS, satu kajian telah dijalankan oleh Amalini et al. (2019) ke atas FSTS daripada tandan kosong kelapa sawit (TKKS) – bermikrohablur selulosa (MHS). Manakala, Ning et al. (2021) menjalankan kajian ke atas FSTS hitam terbiodegradasi (FSTSHT) yang disediakan melalui proses yang sederhana dan murah bersamanya dengan bahan tambah. Untuk menghasilkan FSTSHT, selulosa dilarutkan ke dalam pelarut NaOH/asid humik/ urea dan filem terbentuk melalui proses fasa songsangan, kemudian kitosan/ nefelin dan gliserol sebagai bahan tambah disalutkan pada kedua-dua sisi bagi menghasilkan FSTSHT.

Berdasarkan Jadual 1, sungkup PE mempunyai sifat rintangan yang baik dengan PWA yang rendah. Ciri ini penting dalam mengurangkan penyejatan kelembapan tanah dan meningkatkan kecekapan penggunaan air. Manakala, bahan yang boleh diperbaharui iaitu selulosa biasanya mengandungi kumpulan berfungsi polar seperti hidroksil, yang mempunyai afinitas yang kuat terhadap air. Ini menjadikan sifat rintangan oleh filem daripada selulosa semata-mata adalah lemah, dengan sifat PWA yang tinggi. Secara amnya, nilai PWA bagi sungkup daripada FSTS adalah lebih tinggi berbanding dengan sungkup daripada PE (Yang et al. 2020). Meskipun FSTS mempunyai PWA yang tinggi, namun sifat ini terbukti boleh dikurangkan dengan penambahan bahan tambah yang bersesuaian dengan struktur matriksnya. Dapat dilihat bahawa nilai PWA bagi FSTSHT adalah lebih rendah berbanding nilai PWA bagi FSTS yang dijana menggunakan selulosa sahaja. Ini dijelaskan melalui interaksi ikatan hidrogen intermolekul yang terbentuk antara kumpulan amino bagi kitosan dan kumpulan hidroksil bagi selulosa dan peningkatan daya intermolekul menjadikan strukturnya padat dan kukuh, yang seterusnya

mengurangkan nilai PWA filem (Liang et al. 2020). Hasil kajian ini menunjukkan, kajian lanjutan masih diperlukan

bagi mendapatkan FSTS dengan nilai PWA yang setanding atau lebih baik berbanding dengan apa yang ditawarkan oleh PE.

JADUAL 1. Perbandingan nilai PWA bagi filem sungkup dengan penggunaan bahan dan pelarut berbeza

| Filem  | Bahan        | Pelarut                            | Bahan tambah                 | Penahanan wap air (PWA <sup>a</sup> ) | Rujukan               |
|--|--------------|------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| Filem polietilena (FPE)                                      | PE           | Tidak dinyatakan                   | -                            | 0.09                                  | Bilck et al. (2010)   |
| Filem selulosa terjana semula (FSTS)                         | TKKS         | 1-butyl-3-metilimidazolium klorida | -                            | 1.3 ± 0.05                            | Amalini et al. (2019) |
| Filem selulosa terjana semula hitam terbiodegradasi (FSTSHT) | Linter kapas | NaOH/asid humik/urea               | Kitosan/nefelin dan gliserol | 0.87 ± 0.02a                          | Ning et al. (2021)    |

Unit: PWA ( $\times 10^{-10}$  g H<sub>2</sub>O Pa<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>m<sup>-1</sup>)

<sup>a</sup> bermaksud lima ulangan ± sisihan piawai

Sifat optik penting terutamanya bagi filem sungkup pertanian. Hal ini kerana filem sungkup pelbagai warna menunjukkan corak radiasi yang pelbagai dalam tanaman kanopi dengan kepantulan cahaya kemudiannya memberi impak kepada pertumbuhan tanaman, gerak balas dan perkembangan serangga terhadap tumbuhan (Lamont 2005). Warna dan ujian kelegapan dapat mentaksir ton warna dan kelegapan filem sungkup melalui kehantaran cahaya.

Piawaian Eropah ke atas filem sungkup yang digunakan untuk perencatan rumpai iaitu EN 13655 menggariskan filem sungkup hitam PEKR mestilah mempunyai nilai kepancaran kurang daripada 1% pekali. Begitu juga, seperti yang dilaporkan oleh Briassoulis dan Giannoulis (2018), pekali yang diukur harus memenuhi piawaian yang ditetapkan oleh EN 17033-18 (bagi semua panjang gelombang) dengan relatif kepancaran cahaya mesti kurang daripada 3% untuk sungkup hitam dan legap.

Kajian kelegapan telah dijalankan oleh Ning et al. (2021) ke atas FSTSHT. Didapati FSTSHT mampu menyekat julat Sinaran Aktif Fotosintesis (SAF) daripada sinaran matahari dan seterusnya membolehkan proses perencatan rumpai berlaku. FSTSHT juga terbukti mampu memenuhi syarat kepancaran cahaya yang sesuai untuk penggunaan SP yang cekap dalam pertanian menyamai filem SP tradisional seperti PEKR yang berasaskan minyak fosil (Vox & Schettini 2007).

Jadual 2 menunjukkan nilai kepancaran cahaya filem sungkup berdasarkan tiga bahan asas yang berbeza. Antara filem sungkup daripada polietilena hitam (PEH), filem selulosa (FS) dan FSTSHT, didapati bahawa nilai kepancaran cahaya PEH dan FSTSHT memenuhi syarat keperluan kepancaran cahaya yang diperlukan oleh filem hitam (Ning et al. 2021). Namun begitu, berdasarkan maklumat pada Jadual 2, kepancaran cahaya bagi sungkup PEH adalah lebih rendah berbanding kepancaran cahaya bagi sungkup FSTSHT. Hal ini sekaligus menunjukkan bahawa PEH adalah filem terbaik untuk aplikasi sungkup pertanian.

JADUAL 2. Perbandingan kepancaran cahaya filem sungkup berdasarkan tiga bahan asas yang berbeza

| Filem  | Bahan        | Bahan tambah               | Kepancaran cahaya (%) <sup>a</sup> | Rujukan                         |
|--|--------------|----------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Polietilena hitam (PEH)                                      | PEKR         | -                          | 1.0 ± 0.05                         | Briassoulis & Giannoulis (2018) |
| Filem selulosa terjana semula (FSTS)                         | TKKS         | -                          | 40.18 ± 1.5                        | Amalini et al. (2019)           |
| Filem selulosa terjana semula hitam terbiodegradasi (FSTSHT) | Linter kapas | Kitosan, nefelin, gliserol | 1.553 ± 0.55a                      | Ning et al. (2021)              |

<sup>a</sup> bermaksud lima ulangan ± sisihan piawai

Walaupun FSTS mempunyai kepancaran cahaya melebihi 3%, namun nilai tersebut dapat dikurangkan dengan penambahan bahan tambah yang bersesuaian. Dapat diperhatikan bahawa kepancaran cahaya bagi FSTSHT berkurang dengan penambahan bahan tambah kitosan/nefelin dan gliserol. Oleh itu, kajian lanjutan masih diperlukan bagi mendapatkan FSTS dengan nilai kepancaran cahaya yang setanding dengan yang ditawarkan oleh PEH.

#### SIFAT MEKANIKAL

Sifat mekanikal adalah penting bagi filem sungkup. Hal ini kerana integriti strukturnya semasa penggunaan perlu dikekalkan daripada kerosakan semasa penanaman tanaman untuk satu jangka masa yang panjang. Filem sungkup yang berkualiti mampu bertahan kepada faktor persekitaran seperti hujan, angin kencang, suhu tinggi atau rendah, perubahan kelembapan dan gangguan kerosakan luar oleh hidupan liar yang berkemungkinan berlaku. Antara piawaian yang sering digunakan sebagai kawalan kualiti sifat mekanikal filem sungkup yang digunakan untuk pertanian ialah piawaian EN 13655. Piawaian ini menyatakan bahawa, bergantung

kepada ketebalannya, filem sungkup plastik hitam mesti mempunyai kurang daripada 0.01%, manakala bagi filem sungkup lutsinar resap terma mesti mempunyai jumlah melebihi 85%, dan bagi terma filem sungkup lutsinar lebih tinggi daripada 89%. Piawaian ini memenuhi keperluan yang berkait rapat dengan dimensi, mekanikal, optik dan terma filem plastik untuk aplikasi sungkup dalam pertanian dan hortikultur. Untuk mengenal pasti kualiti sifat mekanikal SP, ia perlu dikeluarkan daripada tanah selepas penggunaannya terhenti. Filem bagi aplikasi ini berada dalam skop prEN 17098-1. Ia menentukan pengelasan ketahanan filem sungkup dan kaedah ujian juga dirujuk dalam piawaian ini (Adhikari et al. 2016; Vox & Schettini 2007).

Ciri mekanikal yang baik yang ditunjukkan oleh filem sungkup berasaskan sumber boleh diperbaharui merupakan alternatif yang baik kepada permasalahan yang diberikan oleh SP berasaskan petroleum. Kajian lepas menunjukkan filem sungkup semula jadi mempunyai ketahanan filem yang baik semasa pertumbuhan tanaman dan kemampuan meregang dan menutupi lapisan tanah (Schettini et al. 2008). Jadual 3 merangkumkan sifat mekanikal PE dan beberapa jenis sungkup yang boleh diperbaharui.

JADUAL 3. Perbandingan sifat mekanikal daripada PE dan sumber yang boleh diperbaharui

| Bahan  | Kekuatan tegangan (MPa) | Rujukan                |
|--|-------------------------|------------------------|
| Polietilena berketumpatan rendah (PEKR)              | 13.0                    | Jiménez et al. (2012)  |
| Kulit jagung   | 112.0                   | Yang et al. (2020)     |
| Selulosa linter kapas + Karboksimetil selulosa (CMC) | 58.0                    | Pang et al. (2013)     |
| Selulosa kenaf                                       | 41.86                   | Azahari et al. (2017)  |
| Kertas jerami  | 33-38                   | Zhang et al. (2019)    |
| Selulosa pokok fir                                   | 70.0                    | Leppänen et al. (2020) |
| Pinus  | 120.0                   | Pang et al. (2015)     |
| Kraft  | 67.0                    | Zhang et al. (2018)    |

Menurut piawaian Eropah (EN-13655) yang dinyatakan pada perenggan sebelum ini, filem SP hitam mesti mempunyai kekuatan tegangan pada takat putus melebihi 16 MPa (Scarascia-Mugnozza et al. 2006).

Berdasarkan Jadual 3, kekuatan tegangan yang dinyatakan dalam jadual mempunyai sifat mekanikal dalam julat yang mencukupi bermula dari tempoh penanaman sehingga penuaian selesai. Kebanyakan sungkup FSTS

yang boleh diperbaharui seperti kulit jagung, linter kapas, kenaf, kertas jerami, pokok fir dan kraft mempunyai kekuatan tegangan setanding atau lebih baik daripada filem PE. Namun, sifat mekanikalnya masih belum mencukupi. Oleh itu, kebanyakan sumber bahan yang boleh diperbaharui sukar digunakan secara terus sebagai SP. Pengubahsuaian, bahan tambah atau pengadunan dengan bahan polimer lain diperlukan bagi mendapatkan sifat mekanikal yang setanding atau lebih baik berbanding PE (Yang et al. 2020).

Suatu kajian telah dijalankan oleh Pang et al. (2015) terhadap FSTS yang disediakan menggunakan bahan asas selulosa yang berlainan (kapas, buluh, pinus dan mikrohablur selulosa) dan cecair ion 1-etil-3-metilimidazolium asetat sebagai pelarut. Hasil kajian menunjukkan kesemua sampel FSTS mempunyai sifat termoset dengan tekanan meningkat dengan cepat pada tarikan kecil dan lebih perlahan selepas titik alah. Didapati FSTS pinus menunjukkan pembentukan filem yang terbaik dengan kekuatan tegangan terbaik, iaitu 120 MPa. Manakala, Azahari et al. (2017) pula telah menjalankan kajian terhadap membran selulosa terjana semula yang terhasil daripada pulpa kenaf yang dilarutkan menggunakan sistem pelarut akueus NaOH/urea. Selulosa terlarut kemudian melalui proses penggumpalan di dalam medium berasid dan terjana semula kepada membran selulosa (Azahari et al. 2017). Membran selulosa bagi pulpa kenaf mempunyai kekuatan tegangan tertinggi kira-kira 41.85 hingga 43.45 MPa. Berdasarkan Jadual 3, dapat diperhatikan bahawa SP daripada sumber yang boleh diperbaharui mempunyai sifat mekanik yang setara atau lebih baik berbanding PE. Kekuatan tegangan tertinggi dengan nilai 120 MPa dicapai oleh FSTS pinus, yang menunjukkan interaksi antara molekul yang kuat dalam filem (Pang et al. 2015). Satu lagi kajian telah dijalankan oleh Zhao et al. (2019) ke atas FSTS daripada kulit durian. Selulosa dagangan dilabelkan sebagai CC, manakala selulosa daripada kulit durian dilabelkan sebagai DC. Hasil daripada kajian ini menunjukkan bahawa filem DC mempunyai kekuatan tegangan yang tinggi dengan tekanan maksimum filem DC dan CC masing-masing sekitar 44 dan 41 MPa. Bebanan dan kekenyalan filem DC yang disediakan dalam kajian ini dapat ditingkatkan dan diubah suai oleh penyebatan bahan tambah atau bahan lain untuk kajian masa hadapan berpandukan laporan sebelumnya, sebagai contoh kitosan (Claro et al. 2016).

Berdasarkan beberapa kajian terhadap sifat mekanikal FSTS ini, dapat dibuktikan bahawa SP daripada FSTS mempunyai sifat mekanikal yang lebih baik berbanding SP daripada bahan berasaskan

petroleum. Tambahan lagi, kekuatan tegangan bagi FSTS juga dapat ditingkatkan dengan penambahan pemplastik seperti gliserol, sorbitol dan CMC. Pemplastik berfungsi untuk meningkatkan keplastikan dan menjadikannya lebih mudah lentur. Dengan gabungan pemplastik hal ini dapat meningkatkan kekuatan tegangan FSTS secara dramatik dan meningkatkan sifat hidrofobik filem selulosa (Pang et al. 2013). Sifat mekanikal yang baik yang ditunjukkan FSTS telah membolehkan ia digunakan dalam beberapa aplikasi seperti sungkupan, pembungkusan makanan dan bahan perubatan.

#### SIFAT KIMIA

Ketoksikan bahan boleh menyebabkan kesan berbahaya kepada kesihatan serta alam sekitar dan mengganggu prestasi atau kebolehan sesuatu bahan. Perubahan prestasi ini sangat berkait rapat dengan sifat kimia yang dipengaruhi oleh struktur bahan itu sendiri. Oleh itu, kajian berkaitan kesan sifat kimia FSTS terhadap tanah amat penting dalam menentukan prestasinya untuk digunakan sebagai alternatif bahan SP.

#### *pH tanah*

pH tanah mempengaruhi pertumbuhan tanaman, ketersediaan nutrien, aktiviti mikrob dan penyebaran tanah liat. pH yang tinggi akan meningkatkan cas permukaan negatif pada zarah tanah dan serakan flokulat tanah. Peningkatan pH sering menyebabkan peningkatan aktiviti mikrob dan bahan organik tanah yang mendorong kepada pengagregatan. pH optimum kebanyakan tanaman adalah sekitar 6.2-6.8 (pengecualian kepada kentang dan beri biru yang tumbuh dengan lebih baik pada tanah yang lebih berasid). Jika pH tanah terlalu tinggi, nutrien seperti fosforus, besi, mangan, kuprum dan boron tidak tersedia untuk tanaman. Sebaliknya, sekiranya pH terlalu rendah, kalsium, magnesium, fosforus, kalium dan molibdenum pula tidak tersedia. Kekurangan nutrien akan mengehadkan hasil dan kualiti tanaman. Ketoksikan aluminium juga menjadi perhatian pada tanah pH rendah, yang akan menurunkan pertumbuhan akar dan tanaman dan menyebabkan pengumpulan aluminium dan logam lain dalam tisu tanaman. Secara umumnya apabila bahan tanah organik meningkat, pH tanah bagi tanaman adalah lebih rendah (Moebius-Clune et al. 2016).

Satu kajian telah dijalankan oleh Haque et al. (2018) ke atas pH tanah menggunakan SP daripada bahan yang berbeza. Jadual 4 menunjukkan pH tanah pada tahun 2016 dan 2017 bagi sungkup PEH dan sungkup jerami



padi. Berdasarkan Jadual 4, dapat diperhatikan bahawa pH tanah bagi kesemua sungkup berkurang dari tahun 2016 ke 2017. Hal ini menunjukkan bahawa tahap keasidan bagi kesemua jenis sungkup meningkat dan keadaan ini sesuai untuk beberapa jenis tanaman seperti padi, ubi kayu, limau, nanas dan rumput. Keasidan tanah

merupakan salah satu faktor penting dalam mengatur kadar penguraian selulosa, kerana ia mengawal lebihan kulat dan aktiviti enzim luar sel. Walaupun nilai pH tidak bervariasi secara signifikan oleh sungkup, hal ini telah dibuktikan oleh peningkatan umum dalam rawatan sungkup.

JADUAL 4. Kesan penggunaan sungkup berbeza ke atas pH tanah serta jenis tanaman yang bersesuaian dengan pH tanah (Haque et al. 2018)

| Tahun | Bahan sungkupan               | pH tanah |
|-------|-------------------------------|----------|
| 2016  | Tanah gondol (sampel kawalan) | 5.23     |
|       | Jerami padi                   | 5.5      |
|       | Polietilena hitam             | 5.34     |
| 2017  | Tanah gondol (sampel kawalan) | 4.50     |
|       | Jerami padi                   | 4.76     |
|       | Polietilena hitam             | 4.63     |

Sungkup plastik terbiodegradasi (SPB) telah dikembangkan sebagai pengganti kepada filem sungkup PE yang akan ditanam di dalam tanah selepas digunakan dan mikroorganisma akan menyebabkan sungkup SPB terbiodegradasi di dalam tanah. SPB boleh disediakan daripada bio-bahan yang diterbitkan daripada mikrob ataupun tumbuhan. Polimer bio-bahan yang biasa digunakan dalam SPB termasuklah polilaktat asid (PLA), selulosa dan polihidroksialkanoat (PHA). Namun, SP berasaskan bahan selulosa iaitu FSTS diberi perhatian dan ia boleh dikategorikan sebagai SP semula jadi yang diolah secara kimia daripada sisa agrikultur.

Berdasarkan Jadual 4, sungkup daripada jerami padi adalah salah satu contoh sungkup daripada FSTS. Pada tahun 2016, pH awal tanah menggunakan FSTS jerami ialah 5.5 iaitu kurang berasid berbanding dengan SP yang lain. Ini menunjukkan FSTS jerami melindungi tanah daripada terlalu berasid. Setahun kemudian, nilai pH tanah bagi kesemua sungkup semakin rendah dan FSTS jerami masih menunjukkan pH tanah yang lebih tinggi berbanding yang lain. Penurunan pH dibantu oleh proses pembajaan (peningkatan bahan organik) dan degradasi SP itu sendiri. Hasil ini menggambarkan kemampuan

FSTS jerami menghindar tanah tanaman daripada menjadi terlalu berasid (Moebius-Clune et al. 2016). Secara teori, pH tanah mempengaruhi ketersediaan nutrien (nitrogen (N), fosforus (F), kalium (K), kalsium (C) dan magnesium (Mg)) di dalam tanah. Kebanyakan tanaman hortikultur akan tumbuh dengan baik pada pH 5.5 dan ke atas dan kebanyakan nutrien tersedia pada pH tanah 6.5 (pH optimum). Bagi pH 4.6 dan ke bawah menunjukkan bahawa tanah tersebut terlalu berasid bagi kebanyakan tanaman dan kebanyakan nutrien tidak tersedia pada julat ini (Upjohn et al. 2005). Sebagai kesimpulannya, sungkup FSTS adalah sungkup terbaik untuk digunakan dalam aplikasi pertanian kerana pengekalan atau kawalan nilai pH tanah yang ditunjukkan oleh sungkup FSTS jerami padi seperti yang dapat dilihat pada Jadual 4. Nilai pH bagi sungkup jenis ini adalah nilai paling hampir dengan nilai optimum dan kebanyakan nutrien tersedia, sekali gus membantu dalam pertumbuhan tanaman.

#### *Keekotoksikan*

Keselamatan ekologi SP daripada FSTS dapat dinilai melalui ujian keekotoksikan. Ujian ini dinilai pada

sampel tanah selepas proses degradasi bahan contohnya SP melalui perbandingan dengan tanah kawalan. Ujian keekotoksikan adalah ujian anak benih dan pertumbuhan tanaman berdasarkan kaedah ujian piawaian OECD 208 (Sforzini et al. 2016). Piawaian ini dirancang untuk menguji kesan penggunaan SP terhadap kemunculan anak benih dan pertumbuhan awal tanaman diikuti pendedahan kepada bahan uji yang diaplikasikan pada permukaan dan dalam tanah.

Daripada sudut pandang toksikologi menurut Bandopadhyay et al. (2018), serpihan SP daripada FSTS yang dimasukkan ke dalam tanah secara amnya dianggap selamat. Ia tidak menunjukkan sebarang kesan ekotoksik (Sforzini et al. 2016), atau kesan buruk terhadap potensi penutrienan (ISO 14238:2012) (Ardisson et al. 2014). Filem sungkup yang baik mestilah terbiodegradasi secara biologi supaya ia boleh dikumpulkan dengan sisa tanaman untuk kompos tanpa menyebabkan ketoksikan terhadap tanah (Siotto et al. 2012; Trinh Tan et al. 2008). Namun begitu, harus diingatkan juga bahawa kajian ini memberi tumpuan kepada tindak balas akut dan kemungkinan besar pendedahan yang lebih lama tidak diuji.

Dalam ekosistem laut, sisa plastik (terutamanya PE dan polipropilena, (PP)) bertindak sebagai medium pengekstrakan fasa pepejal, penumpu toksin, terutamanya pencemaran lipofilik dengan degradasi kimia dan biologinya perlahan (Brodhagen et al. 2015). Sisa plastik yang terhasil mempengaruhi aktiviti mikrob dalam tanah secara negatif dengan pelepasan bahan tambahan seperti poliamida epiklorohidrin (PAE). Ini adalah toksik kepada mikroorganisma dalam tanah sehingga mempengaruhi kualiti tanah dan hasil tanaman (Shah & Wu 2020).

Menurut Sforzini et al. (2016), potensi keekotoksikan sungkup FSTS bukan berpunca daripada polimer dan sebatian daripada polimer semasa proses degradasi, tetapi mungkin berpunca daripada bahan tambahan seperti pemplastik, penstabil haba dan antioksidan. Jumlah bahan tambah biasanya terlalu kecil untuk menyebabkan perbezaan dalam ujian tindak balas akut, tetapi ia mungkin terkumpul akibat penggunaan jangka masa panjang. Ujian keekotoksikan jangka masa panjang diperlukan untuk menentukan keselamatan ekologi sungkup FSTS sepenuhnya.

Sebagai kesimpulannya, SP daripada petroleum biasanya akan mengakibatkan pelepasan bahan toksik ke atmosfera dan tanah semasa pembakaran. Sungkup PE dianggap lengai secara kimia dan serpihan PE yang terkumpul juga akan mempengaruhi tanah secara fizikal

dan memasuki rantaian makanan (Bandopadhyay et al. 2018). Sebaliknya pula pada SP daripada FSTS yang telah dibuktikan sebagai sungkup yang bebas toksik dengan nilai pH optimum dengan kebanyakan tanaman tumbuh dengan baik pada nilai ini. Sungkup FSTS akan terbiodegradasi di dalam tanah tanpa meninggalkan sisa toksik kepada tanah. Walau bagaimanapun, sungkup jenis ini juga mempunyai kesan terhadap persekitaran bergantung kepada cara penghasilannya.

#### SIFAT TERBIODEGRADASI

Bagi filem sungkup pra-rawatan terbiodegradasi, mod khusus biodegradasi (dan degradasi 'bukan-bio') akan berbeza dan bergantung kepada jenis polimer dan fungsinya. Sifat polimer seperti mobiliti, taktisitas, kehabluran, berat molekul, jenis kumpulan berfungsi dan bahan ganti struktur seperti pemplastik dan bahan tambah dilaporkan memainkan peranan penting dalam proses degradasi (Chandra & Rustgi 1997; Tokiwa et al. 2009). Biodegradasi didefinisikan sebagai proses degradasi yang terhasil daripada tindakan mikroorganisma yang berlaku secara semula jadi seperti bakteria, fungi dan alga. Proses tersebut berlaku apabila beberapa bahagian dalam rantaian utama polimer adalah sama dengan bahan semula jadi; oleh itu mikrob boleh menggunakan enzim luar untuk memecahkan rantaian polimer dan menggunakannya sebagai sumber tenaga (Kasirajan & Ngouajio 2012).

Setiap tahun hanya 0.1% karbon polimer PE bertukar kepada karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) secara biodegradasi di bawah tetapan keadaan makmal terbaik. Piawaian EN 17033 merupakan piawaian baru bagi filem SPB. Piawaian ini mengatur keperluan bagi filem SPB termasuk komposisi, keterbiodegradan dalam tanah, kesan ke atas persekitaran tanah (keekotoksikan), serta sifat mekanikal dan optik filem SP. Piawaian ini tidak terpakai bagi filem sungkup yang telah dikeluarkan dari ladang selepas digunakan. Dalam persekitaran semula jadi, proses degradasi adalah lebih perlahan kerana keadaannya tidak dioptimumkan untuk degradasi polimer (Gewert et al. 2015).

Ujian biodegradasi ke atas filem selulosa dan selofan dijalankan dalam tanah berpandukan kajian yang telah dijalankan oleh Zhao et al. (2019). Dalam kajian tersebut, FSTS ditanam di dalam tanah selama 4 minggu untuk mengukur keterbiodegradannya. Didapati FSTS terbiodegradasi secara beransur-ansur oleh mikroorganisma dalam tanah bermula dengan DC, CC dan diikuti oleh selofan. Selepas 4 minggu,

tiada serpihan yang ditemui bagi filem DC dan CC, menunjukkan bahawa filem CC dan DC telah terbiodegradasi sepenuhnya; sementara penurunan berat bagi selofan adalah 94% menunjukkan bahawa selofan tidak terbiodegradasi sepenuhnya dalam tanah sepanjang tempoh 4 minggu. Hal ini mungkin disebabkan penyebatan bahan tambah yang digunakan keatas selofan. Hasil biodegradasi dalam kajian ini adalah sama seperti kajian yang dijalankan sebelum ini keatas keterbiodegradasi FSTS (Qi et al. 2009; Zhang et al. 1996). Oleh itu, FSTS yang dihasilkan daripada kulit durian dianggap sebagai sungkupan lestari kerana ia mempunyai sifat biodegradasi yang baik dan sifatnya yang sesuai digunakan untuk sungkup pertanian.

Sebagai bahan berasaskan biojisim, FSTS menunjukkan sifat biodegradasi yang sangat baik. Satu kajian untuk menganalisis sifat biodegradasi ke atas FSTS daripada batang pisang dan filem PE (sebagai kawalan) dijalankan oleh Ai et al. (2021). Kehilangan berat FSTS pada peringkat awal proses degradasi adalah rendah, kemudian kehilangan berat purata filem mula meningkat dari hari ke hari. Selepas 4 minggu, kadar sisa berat filem selulosa adalah 7%, sementara sisa berat bagi filem PE adalah kira-kira 98-100%. Fenomena ini dibantu oleh proses pelarutan selulosa yang menggunakan cecair ion dengan kehabluran filem selulosa berkurang, serta peningkatan luas permukaan dan bilangan kumpulan hidrofilik. Faktor ini menjadikan FSTS lebih rentan terhadap mikroorganisma tanah (Mohan & Srivastava 2010) menyebabkan FSTS lebih pantas terbiodegradasi di dalam tanah berbanding filem PE.

Dalam kajian yang lain pula, Ning et al. (2021) telah menganalisis tahap degradasi FSTSHT daripada linter kapas. Ujian degradasi telah dijalankan dengan menanam sampel filem di bawah tanah dan dikeluarkan daripada tanah selepas 7, 20, 40 dan 80 hari. Pada hari ke-20, filem mula terdegradasi pada bahagian bucu filem dan lubang kecil mula terbentuk pada permukaan filem. Selepas 80 hari, FSTSHT telah hancur kepada kepingan kecil dan menipis kerana lubang kecil yang terbentuk terdedah kepada serangan mikrob dan seterusnya meningkatkan kadar degradasi. Manakala filem sungkup PE lutsinar yang bertindak sebagai kawalan tidak mengalami sebarang perubahan berat. Kelemahan PE juga dilaporkan oleh Briassoulis dan Giannoulis (2018) yang telah menjalankan ujian degradasi ke atas filem sungkup PE hitam (PEH). Daripada kajian tersebut,

didapati filem sungkup PEH juga sukar untuk terdegradasi di dalam tanah.

Berdasarkan beberapa kajian yang telah dijalankan untuk mengkaji sifat biodegradasi FSTS, dapat disimpulkan bahawa sungkup daripada FSTS nyata lebih mudah terdegradasi di dalam tanah berbanding filem sungkup berasaskan petroleum. SPB atau SP daripada FSTS telah dibangunkan sebagai pengganti kepada filem sungkup PE. Sungkup FSTS akan ditanam di dalam tanah selepas penggunaannya dan mikroorganisma dalam tanah akan merosakkan sungkup, sementara sungkup PE mesti dikeluarkan daripada tanah selepas penggunaannya. Apabila terdedah kepada cahaya matahari dan cuaca persekitaran, sungkup PE menjadi rapuh dan sukar untuk dikeluarkan daripada tanah, mengakibatkan pengumpulan sisa plastik di dalam tanah. Hal ini jelas menunjukkan bahawa sungkup daripada FSTS berpotensi untuk digunakan sebagai SP dalam pertanian sebagai pengganti kepada sungkup berasaskan petroleum.

#### CABARAN PENGGUNAAN FSTS SEBAGAI SUNGKUP PERTANIAN

Kajian mengenai penggunaan FSTS dalam pertanian telah menarik minat ramai penyelidik disebabkan oleh sifat mekanikalnya yang sangat baik serta liang pori yang tinggi membolehkannya digunakan secara meluas dalam bidang pertanian. Menurut Armir et al. (2021), sungkup merupakan salah satu bahan yang dibentuk sebagai penghalang fizikal yang bersifat melindungi tanaman daripada pencemaran tanah dan dalam masa yang sama dapat mengekalkan struktur tanah. Namun begitu, terdapat beberapa cabaran serta kekurangan semasa penggunaan FSTS sebagai SP. Pertama, SP daripada FSTS terdegradasi di dalam tanah terlalu cepat. Hal ini akan menjejaskan tanaman akibat daripada tindak balas yang tidak konsisten terhadap hasil tanaman (Deng et al. 2019). Oleh itu, bahan tambah seperti pemplastik diperlukan bagi memanjangkan tempoh biodegradasi sungkup FSTS di dalam tanah. Selain itu, SP daripada FSTS lebih cenderung untuk rosak sebelum musim tanaman berakhir. Kegagalan ini akan memberi kesan negatif kepada tanaman yang diuji. Walau bagaimanapun, tambahan kawalan rumpai boleh disediakan bagi mengekalkan air kepada sistem tanaman (Elias 2018; Kasirajan & Ngouajio 2012). Jadual 5 merumuskan antara kelebihan dan kekurangan penggunaan bahan sungkupan daripada sisa pertanian.

JADUAL 5. Kelebihan dan kekurangan bahan sungkup daripada sisa pertanian

| Bahan sungkup         | Kelebihan  | Kekurangan  | Rujukan                               |
|-----------------------|--|---|---------------------------------------|
| Jerami                | Meningkatkan kesuburan tanah                           | Peningkatan infestasi rumpai                        | Akhtar et al. (2018)                  |
| Kulit kayu            | Mengekalkan kelembapan tanah dalam jangka masa panjang | Berasid   | Ranjan et al. (2017)                  |
| Keratan rumput        | Mudah tersedia   | Tidak boleh digunakan semasa musim hujan            | Mutetwa & Mtaita (2014)               |
| Kompos (sisa tanaman) | Berupaya menyimpan air di dalam tanah                  | Kandungan nitrogen terlalu tinggi                   | Ranjan et al. (2017)                  |
| Batang pisang         | Mempunyai kandungan serat selulosa yang tinggi         | Berbuah sekali sahaja                               | Ai et al. (2021)                      |
| Kulit durian          | Kos rendah (daripada sisa kulit durian)                | Kekuatan mekanikal rendah (memerlukan bahan tambah) | Zhao et al. (2019)                    |
| Lintir kapas          | Sifat biodegradasi yang sangat baik                    | Kadar pemanjangan kurang baik                       | Luo et al. (2013); Ning et al. (2021) |

#### KESIMPULAN

Sebagai kesimpulan, SP daripada FSTS telah muncul sebagai alternatif yang sangat penting yang dapat meningkatkan kecekapan penggunaan air yang digunakan sewaktu pertumbuhan tanaman. SP daripada FSTS terbukti mempunyai kekuatan mekanikal yang lebih baik daripada PE. Selain itu, SP daripada FSTS juga telah terbukti sebagai sungkup yang bebas toksik dan mudah terdegradasi di dalam tanah secara semula jadi tanpa mencemarkan tanah, berbanding sungkup berasaskan petroleum. Oleh itu, SP daripada FSTS amat berpotensi untuk digunakan sebagai sungkup dalam pertanian, bagi menggantikan sungkup berasaskan petroleum. Berdasarkan beberapa kajian lepas, terbukti SPB yang terhasil menunjukkan sifat positif terhadap pertumbuhan tanaman. Dengan penambahan bahan tambah yang bersesuaian, FSTS yang terhasil dapat menghasilkan filem dengan sifat yang setanding dengan filem sungkup yang dihasilkan daripada PE. Kajian lanjutan terhadap FSTS untuk sungkup pertanian juga diperlukan untuk penggunaan jangka masa panjang.

#### PENGHARGAAN

Sekalung penghargaan diberikan kepada Kementerian Pengajian Tinggi (KPT) Malaysia atas sokongan

melalui projek Geran Penyelidikan LRGS/1/2019/UKM-UKM/5/1.

#### RUJUKAN

- Adhikari, R., Bristow, K.L., Casey, P.S., Freischmidt, G., Hornbuckle, J.W. & Adhikari, B. 2016. Preformed and sprayable polymeric mulch film to improve agricultural water use efficiency. *Agricultural Water Management* 169: 1-13.
- Ai, B., Zheng, L., Li, W., Zheng, X., Yang, Y., Xiao, D., Shi, J. & Sheng, Z. 2021. Biodegradable cellulose film prepared from banana pseudo-stem using an ionic liquid for mango preservation. *Frontiers in Plant Science* 12: 1-10.
- Akhtar, K., Wang, W., Ren, G., Khan, A., Feng, Y. & Yang, G. 2018. Changes in soil enzymes, soil properties, and maize crop productivity under wheat straw mulching in Guanzhong, China. *Soil and Tillage Research* 182(95): 94-102.
- Amalini, A.N., Haida, M.K.N., Imran, K. & Haafiz, M.K.M. 2019. Relationship between dissolution temperature and properties of oil palm biomass based-regenerated cellulose films prepared via ionic liquid. *Materials Chemistry and Physics* 221: 382-389.
- Amran, U.A., Zakaria, S., Chia, C.H., Fang, Z. & Masli, M.Z. 2017. Production of liquefied oil palm empty fruit bunch based polyols via microwave heating. *Energy and Fuels* 31(10): 10975-10982.

- Andrady, A.L. & Neal, M.A. 2009. Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364(1526): 1977-1984.
- Ardisson, G.B., Tosin, M., Barbale, M. & Degli-Innocenti, F. 2014. Biodegradation of plastics in soil and effects on nitrification activity. A laboratory approach. *Frontiers in Microbiology* 5(475): 710.
- Armira, N.A.Z., Zulkifli, A., Gunaseelan, S., Palanivelu, S.D., Salleh, K.M., Othman, M.H.C. & Zakaria, S. 2021. Regenerated cellulose products for agricultural and their potential: A review. *Polymers* 13(20): 1-29.
- Azahari, N.A., Zakaria, S., Kaco, H., Yee, G.S., Chia, C.H., Jaafar, S.N.S. & Sajab, M.S. 2017. Membran selulosa kenaf terjana semula daripada larutan akues NaOH/Urea yang digumpal menggunakan asid sulfurik. *Sains Malaysiana* 46(5): 795-801.
- Bandopadhyay, S., Martin-Closas, L., Pelacho, A.M. & DeBruyn, J.M. 2018. Biodegradable plastic mulch films: Impacts on soil microbial communities and ecosystem functions. *Frontiers in Microbiology* 9: 1-7.
- Bilck, A.P., Grossmann, M.V.E. & Yamashita, F. 2010. Biodegradable mulch films for strawberry production. *Polymer Testing* 29(4): 471-476.
- Briassoulis, D. & Giannoulis, A. 2018. Evaluation of the functionality of bio-based plastic mulching films. *Polymer Testing* 67: 99-109.
- Brodhagen, M., Peyron, M., Miles, C. & Inglis, D.A. 2015. Biodegradable plastic agricultural mulches and key features of microbial degradation. *Applied Microbiology and Biotechnology* 99(3): 1039-1056.
- Chae, Y. & An, Y. 2018. Current research trends on plastic pollution and ecological impacts on the soil ecosystem: A review. *Environmental Pollution* 240: 387-395.
- Chandra, R. & Rustgi, R. 1997. Biodegradation of maleated linear low-density polyethylene and starch blends. *Polymer Degradation and Stability* 56(2): 185-202.
- Claro, P.I.C., Neto, A.R.S., Bibbo, A.C.C., Mattoso, L.H.C., Bastos, M.S.R. & Marconini, J.M. 2016. Biodegradable blends with potential use in packaging: A comparison of PLA/chitosan and PLA/cellulose acetate films. *Journal of Polymers and the Environment* 24(4): 363-371.
- Corbin, A., Cowan, J., Miles, C., Dorgan, J.R. & Inglis, D. 2013. Using biodegradable plastics as agricultural mulches. *Washington State University Extension*. pp. 1-6.
- Deng, L., Yu, Y., Zhang, H., Wang, Q. & Yu, R. 2019. The effects of biodegradable mulch film on the growth, yield, and water use efficiency of cotton and maize in an arid region. *Sustainability (Switzerland)* 11(24): 1-15.
- Doran, J.W. 1980. Microbial changes associated with residue management with reduced tillage. *Soil Science Society of America Journal* 44(5): 518-523.
- Elias, S.A., Alderton, D., Cochran, J.K., Dellasala, D.A., Faccenna, C., Goldstein, M.I., Lajtha, K., Marshall, S., Mather, T.A., Nehrenheim, E., Schoof, J., Sinclair, H.D. & Smith, P.N. 2018. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. United States: Elsevier Inc.
- Gan, S., Zakaria, S., Chia, C.H., Chen, R.S., Ellis, A.V. & Kaco, H. 2017. Highly porous regenerated cellulose hydrogel and aerogel prepared from hydrothermal synthesized cellulose carbamate. *PLoS ONE* 12(3): 1-13.
- Gewert, B., Plassmann, M.M. & Macleod, M. 2015. Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. *Environmental Sciences: Processes and Impacts* 17(9): 1513-1521.
- Ghaderi, M., Mousavi, M., Yousefi, H. & Labbafi, M. 2014. All-cellulose nanocomposite film made from bagasse cellulose nanofibers for food packaging application. *Carbohydrate Polymers* 104: 59-65.
- Grewal, R., Sweesy, W., Jur, J.S. & Willoughby, J. 2012. Moisture vapor barrier properties of biopolymers for packaging materials. In *Functional Materials from Renewable Sources*, disunting oleh Liebner, F. & Rosenau, T. Oxford: American Chemical Society. hlm. 271-296.
- Haque, M.A., Jahiruddin, M. & Clarke, D. 2018. Effect of plastic mulch on crop yield and land degradation in south coastal saline soils of Bangladesh. *International Soil and Water Conservation Research* 6(4): 317-324.
- Huang, W., Wang, Y., Zhang, L. & Chen, L. 2016. Rapid dissolution of spruce cellulose in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> aqueous solution at low temperature. *Cellulose* 23(6): 3463-3473.
- Jiménez, A., Fabra, M.J., Talens, P. & Chiralt, A. 2012. Effect of re-crystallization on tensile, optical and water vapour barrier properties of corn starch films containing fatty acids. *Food Hydrocolloids* 26(1): 302-310.
- Kasirajan, S. & Ngouajio, M. 2012. Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: A review. *Agronomy for Sustainable Development* 32(2): 501-529.
- Klemm, D., Heublein, B., Fink, H.P. & Bohn, A. 2005. Cellulose: Fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angewandte Chemie - International Edition* 44(22): 3358-3393.
- Lal, R. 1974. Soil temperature, soil moisture and maize yield from mulched and unmulched tropical soils. *Plant and Soil* 40(1): 129-143.
- Lamont, W.J. 2005. Plastics: Modifying the microclimate for the production of vegetable crops. *HortTechnology* 15(3): 477-481.
- Leppänen, I., Vikman, M., Harlin, A. & Orelma, H. 2020. Enzymatic degradation and pilot-scale composting of cellulose-based films with different chemical structures. *Journal of Polymers and the Environment* 28(2): 458-470.
- Liang, W., Zhao, Y., Xiao, D., Cheng, J. & Zhao, J. 2020. A biodegradable water-triggered chitosan/hydroxypropyl methylcellulose pesticide mulch film for sustained control of *Phytophthora sojae* in soybean (*Glycine max* L. Merr.). *Journal of Cleaner Production* 245: 118943.
- Liu, E., Zhang, L., Dong, W. & Yan, C. 2021. Biodegradable plastic mulch films in agriculture: Feasibility and challenges. *Environmental Research Letters* 16(1): 011004.



- Liu, J., Zhu, L., Luo, S., Bu, L., Chen, X., Yue, S. & Li, S. 2014. Response of nitrous oxide emission to soil mulching and nitrogen fertilization in semi-arid farmland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 188: 20-28.
- Luo, J., Chen, Z. & Zhang, K.Y. 2013. Preparation and characterization of biodegradable cotton mulching film. *Applied Mechanics and Materials* 368-370: 791-794.
- Marichal-Gallardo, P., Pieler, M.M., Wolff, M.W. & Reichl, U. 2017. Steric exclusion chromatography for purification of cell culture-derived influenza A virus using regenerated cellulose membranes and polyethylene glycol. *Journal of Chromatography A* 1483: 110-119.
- Moebius-Clune, B.N., Moebius-Clune, D.J., Gugino, B.K., Idowu, O.J., Schindelbeck, R.R., Ristow, A.J., van Es, H.M., Thies, J.E., Shayler, H.A., McBride, M.B., Wolfe, D.W. & Abawi, G.S. 2016. *Comprehensive Assessment of Soil Health - The Cornell Framework*. Ithaca, New York. Cornell University.
- Mohan, S.K. & Srivastava, T. 2010. Microbial deterioration and degradation of polymeric materials. *Journal of Biochemical Technology* 2(4): 210-215.
- Mutetwa, M. & Mtaita, T. 2014. Effects of mulching and fertilizer sources on growth and yield of onion. *Journal of Global Innovations in Agricultural and Social Sciences* 2(3): 102-106.
- Ning, R., Liang, J., Sun, Z., Liu, X. & Sun, W. 2021. Preparation and characterization of black biodegradable mulch films from multiple biomass materials. *Polymer Degradation and Stability* 183: 109411.
- Nur Aimi, M.N., Anura, H., Maizirwan, M., Sapuan, S.M., Wahit, M.U. & Zakaria, S. 2015. Preparation of durian skin nanofibre (DSNF) and its effect on the properties of polylactic acid (PLA) biocomposites. *Sains Malaysiana* 44(11): 1551-1559.
- Pang, J., Liu, X., Zhang, X., Wu, Y. & Sun, R. 2013. Fabrication of cellulose film with enhanced mechanical properties in ionic liquid 1-allyl-3-methylimidazolium chloride (AmimCl). *Materials* 6(4): 1270-1284.
- Pang, J., Wu, M., Zhang, Q., Tan, X., Xu, F., Zhang, X. & Sun, R. 2015. Comparison of physical properties of regenerated cellulose films fabricated with different cellulose feedstocks in ionic liquid. *Carbohydrate Polymers* 121: 71-78.
- Perotto, G., Ceseracciu, L., Simonutti, R., Paul, U.C., Guzman-Puyol, S., Tran, T.N., Bayer, I.S. & Athanassiou, A. 2018. Bioplastics from vegetable waste: Via an eco-friendly water-based process. *Green Chemistry* 20(4): 894-902.
- Qi, H., Chang, C. & Zhang, L. 2009. Properties and applications of biodegradable transparent and photoluminescent cellulose films prepared via a green process. *Green Chemistry* 11(2): 177-184.
- Ramakrishna, A., Tam, H.M., Wani, S.P. & Long, T.D. 2006. Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam. *Field Crops Research* 95(2-3): 115-125.
- Ramos, L., Berenstein, G., Hughes, E.A., Zalts, A. & Montserrat, J.M. 2015. Polyethylene film incorporation into the horticultural soil of small periurban production units in Argentina. *Science of the Total Environment* 523: 74-81.
- Ranjan, P., Patle, G.T., Prem, M. & Solanke, K.R. 2017. Organic mulching- a water saving technique to increase the production of fruits and vegetables. *Current Agriculture Research Journal* 5(3): 371-380.
- Saidi, A.S.M., Zakaria, S., Chia, C.H., Jaafar, S.N.S. & Padzil, F.N.M. 2016. Physico-mechanical properties of kenaf pulp cellulose membrane cross-linked with glyoxal. *Sains Malaysiana* 45(2): 263-270.
- Salleh, K.M., Zakaria, S., Sajab, M.S., Gan, S., Chia, C.H., Jaafar, S.N.S. & Amran, U.A. 2018. Chemically crosslinked hydrogel and its driving force towards superabsorbent behaviour. *International Journal of Biological Macromolecules* 118: 1422-1430.
- Sayyed, A.J., Deshmukh, N.A. & Pinjari, D.V. 2019. A critical review of manufacturing processes used in regenerated cellulosic fibres: Viscose, cellulose acetate, cuprammonium, LiCl/DMAC, ionic liquids, and NMMO based lyocell. *Cellulose* 26(5): 2913-2940.
- Scarascia-Mugnozza, G., Schettini, E., Vox, G., Malinconico, M., Immirzi, B. & Pagliara, S. 2006. Mechanical properties decay and morphological behaviour of biodegradable films for agricultural mulching in real scale experiment. *Polymer Degradation and Stability* 91(11): 2801-2808.
- Schettini, E., Vox, G., Candura, A., Malinconico, M., Immirzi, B. & Santagata, G. 2008. Starch-based films and spray coatings as biodegradable alternatives to LDPE mulching films. In *International Symposium on High Technology for Greenhouse System Management: Greensys2007* 801: 171-179.
- Serrano-Ruiz, H., Martin-Closas, L. & Pelacho, A.M. 2021. Biodegradable plastic mulches: Impact on the agricultural biotic environment. *Science of the Total Environment* 750: 141228.
- Sforzini, S., Oliveri, L., Chinaglia, S. & Viarengo, A. 2016. Application of biotests for the determination of soil ecotoxicity after exposure to biodegradable plastics. *Frontiers in Environmental Science* 4: 1-12.
- Shah, F. & Wu, W. 2020. Use of plastic mulch in agriculture and strategies to mitigate the associated environmental concerns. In *Advances in Agronomy*, Chapter 5, disunting oleh Sparks, D.L. Massachusetts: Academic Press. 164: 231-287.
- Sharif, A. & Hoque, M.E. 2019. Renewable resource-based polymers. In *Bio-based Polymers and Nanocomposites - Preparation, Processing, Properties & Performance*, disunting oleh Jawaid, M. & Sanyang, M.L. Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland AG. hlm. 1-28.
- Siotto, M., Sezenna, E., Saponaro, S., Innocenti, F.D., Tosin, M., Bonomo, L. & Mezzanotte, V. 2012. Kinetics of monomer biodegradation in soil. *Journal of Environmental Management* 93(1): 31-37.

- Siracusa, V. 2012. Food packaging permeability behaviour: A report. *International Journal of Polymer Science* 2012: 1-11.
- Stagnari, F., Galieni, A., Specca, S., Cafiero, G. & Pisante, M. 2014. Effects of straw mulch on growth and yield of durum wheat during transition to conservation agriculture in Mediterranean environment. *Field Crops Research* 167: 51-63.
- Steinmetz, Z., Wollmann, C., Schaefer, M., Buchmann, C., David, J., Tröger, J., Muñoz, K., Frör, O. & Schaumann, G.E. 2016. Plastic mulching in agriculture. Trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation? *Science of the Total Environment* 550: 690-705.
- Tokiwa, Y., Calabia, B.P., Ugwu, C.U. & Aiba, S. 2009. Biodegradability of plastics. *International Journal of Molecular Sciences* 10(9): 3722-3742.
- Tran, C.D. & Mututuvvari, T.M. 2016. Cellulose, chitosan and keratin composite materials: Facile and recyclable synthesis, conformation and properties. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering* 4(3): 1850-1861.
- Trinh Tan, F., Cooper, D.G., Marić, M. & Nicell, J.A. 2008. Biodegradation of a synthetic co-polyester by aerobic mesophilic microorganisms. *Polymer Degradation and Stability* 93(8): 1479-1485.
- Upjohn, B., Fenton, G. & Conyers, M. 2005. *Soil Acidity and Liming*. Edisi ke-3. NSW Department of Primary Industries: New South Wales. hlm. 1-24.
- Vo, L.T.T., Široká, B., Manian, A.P. & Bechtold, T. 2010. Functionalisation of cellulosic substrates by a facile solventless method of introducing carbamate groups. *Carbohydrate Polymers* 82(4): 1191-1197.
- Vox, G. & Schettini, E. 2007. Evaluation of the radiometric properties of starch-based biodegradable films for crop protection. *Polymer Testing* 26(5): 639-651.
- Wang, L., Gruber, S. & Claupein, W. 2012. Effects of woodchip mulch and barley intercropping on weeds in lentil crops. *Weed Research* 52(2): 161-168.
- Wang, W., Bai, Q., Liang, T., Bai, H. & Liu, X. 2017. Preparation of amino-functionalized regenerated cellulose membranes with high catalytic activity. *International Journal of Biological Macromolecules* 102: 944-951.
- Weißl, M., Niegelhell, K., Reishofer, D., Zankel, A., Innerlohinger, J. & Spirk, S. 2018. Homogeneous cellulose thin films by regeneration of cellulose xanthate: Properties and characterization. *Cellulose* 25(1): 711-721.
- Xia, G., Wan, J., Zhang, J., Zhang, X., Xu, L., Wu, J., He, J. & Zhang, J. 2016. Cellulose-based films prepared directly from waste newspapers via an ionic liquid. *Carbohydrate Polymers* 151: 223-229.
- Xu, H., Huang, L., Xu, M., Qi, M., Yi, T., Mo, Q., Zhao, H., Huang, C., Wang, S. & Liu, Y. 2020. Preparation and properties of cellulose-based films regenerated from waste corrugated cardboards using [Amim]Cl/CaCl<sub>2</sub>. *ACS Omega* 5(37): 23743-23754.
- Yang, Y., Li, P., Jiao, J., Yang, Z., Lv, M., Li, Y., Zhou, C., Wang, C., He, Z., Liu, Y. & Song, S. 2020. Renewable sourced biodegradable mulches and their environment impact. *Scientia Horticulturae* 268: 109375.
- Zhang, L., Liu, H., Zheng, L., Zhang, J., Du, Y. & Feng, H. 1996. Biodegradability of regenerated cellulose films in soil. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 35(12): 4682-4685.
- Zhang, X., Xiao, N., Wang, H., Liu, C. & Pan, X. 2018. Preparation and characterization of regenerated cellulose film from a solution in lithium bromide molten salt hydrate. *Polymers* 10(6): 614.
- Zhang, X., You, S., Tian, Y. & Li, J. 2019. Comparison of plastic film, biodegradable paper and bio-based film mulching for summer tomato production: Soil properties, plant growth, fruit yield and fruit quality. *Scientia Horticulturae* 249: 38-48.
- Zhao, G., Lyu, X., Lee, J., Cui, X. & Chen, W.N. 2019. Biodegradable and transparent cellulose film prepared eco-friendly from durian rind for packaging application. *Food Packaging and Shelf Life* 21: 100345.

\*Pengarang untuk surat-menyurat; email: kmsalleh@usm.my