

TEKNOLOGI NANO UNTUK PERTANIAN: APLIKASI HIDROGEL UNTUK EFISIENSI IRIGASI

Nanotechnology for Agriculture: Application of Hydrogel for Irrigation Efficiency

Setyono Hari Adi

setyono.hari@gmail.com

Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Jl. Tentara Pelajar No. 1A, Cimanggu, Bogor 16111

Naskah diterima 14 Desember 2011; hasil evaluasi 28 Mei 2012; hasil perbaikan 2 Juli 2012

ABSTRAK

Hidrofilik gel atau hidrogel adalah jaringan makromolekul yang dapat menyerap dan melepaskan air tergantung pada rangsangan eksternal, seperti pH, kelembaban, suhu, dan tekanan lingkungan sekitarnya. Tergantung pada pemilihan material dan teknik sintesisnya, hidrogel termasuk ke dalam produk teknologi nano dengan ukuran rongga permukaan antara 50-200 nm (SEM) dan luas permukaan ~ 300 m²/gram (BET). Aplikasi hidrogel di bidang pertanian telah terbukti mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air, yang juga mampu menurunkan erosi. Dalam makalah ini, teknologi yang berhubungan dengan proses produksi hidrogel, seperti jenis material, aplikasi secara umum, metode sintesis, pengujian dan karakterisasi, akan ditinjau dengan pertimbangan penggunaan material yang memiliki biokompatibilitas terhadap lingkungan dan teknik sintesis dan pengujian yang sederhana dan ramah lingkungan.

Kata kunci : Teknologi nano, polimer, hidrogel, irigasi

ABSTRACT

Hydrophilic gels or hydrogels is a macromolecular network which is able to reversibly absorb and release water, depending on the external stimuli such as: pH, temperature, humidity, and pressure of its application medium. Depending on the based material and the synthesise technique, hydrogel can be a nano product with the structural cavity size is in between 50-200 nm (SEM) and surface area of ~ 300 m²/gram (BET). Application of hydrogel for agriculture has been proven to increase water use efficiency, and decrease erosion dramatically. In this paper, technology related to production process of hydrogel, such as the based materials, potential application in general, the synthesise, testing and characterization methods will be reviewed, in which low cost technique and biocompatibility are to be considered.

Keywords : Nanotechnology, polymer, hydrogel, irrigation

Pemanasan global karena produksi berlebih gas rumah kaca, seperti CH₄, CO₂, dan N₂O, menyebabkan terjadinya perubahan iklim yang secara langsung mengakibatkan distribusi air menjadi tidak menentu dan sulit diprediksi. Hal ini menyebabkan terjadinya kelangkaan maupun kelebihan air yang masing-masing menyebabkan kekeringan dan banjir terutama di lahan pertanian. Efisiensi irigasi tanpa penerapan teknologi sangat rendah, yaitu antara 30-50%. Aplikasi irigasi yang berlebih akan menyebabkan sebagian besar air irigasi terbuang baik sebagai *excess run off*, evaporasi, dan transpirasi (20-30%), maupun perkolasi (30-40%) (Hillel, 1997). Penerapan teknologi manajemen sumber daya air mampu meningkat-

kan efisiensi sampai dengan 80%, akan tetapi hal ini sulit diterapkan karena tingkat pendidikan petani yang relatif rendah mempengaruhi tingkat komitmen petani dalam penerapan teknologi manajemen sumber daya air yang ada.

Alternatif lain peningkatan efisiensi penggunaan irigasi pada lahan pertanian adalah dengan aplikasi teknologi polimer. Hidrogel merupakan polimer yang mampu menyerap dan melepas air tergantung stimulan eksternal yang diterima seperti pH, suhu, dan kelembaban media aplikasinya (Zamani *et al.*, 2010). Hidrogel pertama kali diaplikasikan di lahan pertanian pada tahun 80-an (Jhurry, 1997), dan terbukti mampu meningkatkan kapasitas tampung air pada tanah yang secara langsung

dapat meningkatkan efisiensi irigasi sekaligus mencegah erosi (Sojka *et al.*, 2005; Zohuriaan-Mehr *et al.*, 2008).

Di Indonesia, penelitian tentang hidrogel sebagai *super absorbent* masih terbatas pada tahap sintesis. Dua teknik sintesis hidrogel yang sering digunakan adalah teknik kopolimerisasi cangkok (Anah *et al.*, 2010) dan iradiasi sinar gamma (Tamat *et al.*, 2008; Erizal *et al.*, 2009; Rekso *et al.*, 2009; Erizal *et al.*, 2010), dengan bahan utama antara lain *carboxymethyl cellulose* (Anah *et al.*, 2010), *acrylamide* (Erizal *et al.*, 2009), *alginate* (Erizal *et al.*, 2010), dan *chitosan* (Rekso *et al.*, 2009). Teknik iradiasi sinar gamma dengan menggunakan bahan Poly (Acrylamide-co-Acrylic Acid) dapat menghasilkan hidrogel dengan kapasitas serap sampai dengan 350 kali bobot keringnya (Erizal *et al.*, 2009). Di bidang pertanian, hidrogel diaplikasikan terbatas pada budidaya tanaman hias, sedangkan aplikasi secara massal untuk efisiensi irigasi di lahan pertanian tanaman pangan belum ada. Hidrogel memiliki potensi besar untuk diaplikasikan di lahan pertanian terutama di lahan kering, akan tetapi aplikasi secara menyeluruh belum dapat dilakukan karena permasalahan tingginya biaya produksi dan mudahnya hidrogel terdegradasi di dalam tanah, sehingga tidak menghasilkan peningkatan efisiensi irigasi yang signifikan (Subagio, 2009).

Dalam dunia industri, hidrogel disintesis menggunakan polimer tiruan yang diproduksi dari monomer *acrylic* (termasuk *acrylic acid* dan *acrylamide*) sebagai material utama. Akan tetapi, karena isu ekonomis dan lingkungan, penelitian lanjutan kemudian lebih diarahkan untuk menggunakan bahan utama polimer alami yang bersifat *abundant*, *biocompatible*, dan *biodegradable*; termasuk di dalamnya adalah *chitin* (*chitosan*), selulosa, pati, dan getah alam, seperti xantan, guar, dan alginate (Zohuriaan-Mehr *et al.*, 2008). Tulisan ini membahas teknologi polimer untuk efisiensi irigasi pertanian secara menyeluruh dari sisi material, cara sintesis, teknik pengujian, dan juga aplikasinya. Kajian dititikberatkan pada pemanfaatan material yang terbukti memiliki biokompatibilitas dan juga teknik sintesis dan pengujian yang sederhana dan ramah lingkungan.

TEKNOLOGI POLIMER DI BIDANG PERTANIAN

Di bidang pertanian, khususnya sumber daya lahan, teknologi polimer terutama diaplikasikan untuk perbaikan sifat-sifat fisik tanah yaitu untuk peningkatan retensi air dalam tanah yang mengakibatkan peningkatan efisiensi penggunaan air irigasi, peningkatan permeabilitas tanah dan laju infiltrasi, pengurangan erosi, peningkatan performa tanaman (Jhurry, 1997), dan sebagai perantara pestisida (Aouada *et al.*, 2011). Terdapat dua jenis polimer yang digunakan untuk peningkatan sumber daya lahan pertanian, yaitu kondisioner tanah dan hidrogel.

Kondisioner tanah merupakan polimer yang bersifat larut air. Polimer yang termasuk dalam golongan ini adalah *poly (ethylene glycol)*, *poly (vinyl alcohol)*, *polyacrylates*, *polyacrylamide*, dan *poly (vinyl acetate-alt-maleic anhydride)*. Secara umum material tersebut disintesis dengan metode polimerisasi radikal bebas, kecuali *poly (ethylene glycol)*. Kondisioner tanah memiliki kelebihan diantaranya mampu meningkatkan aerasi tanah sehingga meningkatkan aktivitas mikrobial, menunda proses pelarutan pupuk, dan meningkatkan penyerapan nutrisi oleh tanaman. Akan tetapi karena bersifat larut air, implementasi teknologi ini menjadi tidak ekonomis.

Hidrogel merupakan jaringan makromolekul yang mampu menyerap dan melepas air secara reversibel berdasarkan stimulan eksternal (Sannino *et al.*, 2009). Tidak seperti kondisioner tanah yang hanya membentuk jaringan linier sehingga bersifat larut air, hidrogel mempunyai jaringan tersilang kait (*cross linked*) yang apabila terkena air akan membentuk suatu jaringan makromolekul tiga dimensi dengan kemampuan menyerap air yang jauh melebihi berat atau volumenya sendiri (atau biasa disebut *super absorbent material*) dan tidak larut air (Zohuriaan-Mehr *et al.*, 2008). Pada tahun 1990, Wang dan Gregg dalam Tung *et al.* (1990), dalam penelitiannya tentang perbandingan beberapa produk hidrogel, menyebutkan bahwa secara umum hidrogel mampu menyerap air terdistilasi sampai dengan 500 kali dari berat volume keringnya. Pada kondisi tertentu hidrogel mampu melepas air tersimpan untuk kemudian dikembalikan ke media asalnya, yaitu tanah.

Berdasarkan unit monomer yang terkandung dalam struktur kimianya, hidrogel untuk aplikasi di bidang pertanian terbagi menjadi tiga tipe (Jhurry, 1997; Zohuriaan-Mehr *et al.*, 2008), yaitu: (1) selulosa-*polyacrylonitrile* (PAN) terhidrolisis, (2) *polyacrylates* dan *polyacrylamide* yang tersilang-kait, dan (3) kopolimer yang terdiri atas *polyacrylamides* yang tersilang-kait dan *acrylamide-acrylate* yang tersilang kait, yang mengandung unit *acrylamide*. Sedangkan berdasarkan keberadaan muatan listrik pada tipe rantai kait-silangnya, hidrogel dapat dibagi menjadi empat kategori (Zohuriaan-Mehr *et al.*, 2008), yaitu: (1) non ionik (tanpa muatan listrik), (2) ionik (meliputi anionik dan kationik), (3) ampolitik (mengandung basa dan asam), dan (4) zwitterionik (mengandung anion dan kation di setiap unit struktur berulangannya).

Penerapan hidrogel di lahan pertanian terbukti mampu meningkatkan retensi air dalam tanah karena air yang terbuang di luar zona perakaran mampu diserap oleh material hidrogel dan untuk kemudian dapat digunakan kembali sampai dengan 95% dari air yang tersimpan dalam material (Jhurry, 1997). Proses inilah yang kemudian secara teoritis mampu meningkatkan efisiensi irigasi, karena air yang terbuang menjadi *run off* dapat disimpan sementara untuk kemudian digunakan kembali oleh tanaman pada saat dibutuhkan. Selain itu, aplikasi hidrogel juga mampu meningkatkan kelembaban tanah, menurunkan cekaman air, yang kemudian meningkatkan performa tumbuh tanaman. Efek positif lain dengan diminimalisaskannya *run off* adalah peningkatan efisiensi penggunaan pupuk pada tanaman. Untuk mendapatkan hasil serapan optimal, hidrogel dapat diaplikasikan di wilayah zona perakaran di bawah permukaan tanah.

MEKANISME KERJA HIDROGEL

Hidrogel secara umum memiliki kemampuan untuk menyerap dan melepas air. Pada saat terjadi kontak dengan air, grup hidrofilik yang bersifat polar dari hidrogel merupakan bagian awal yang akan terhidrasi oleh molekul air yang menyebabkan pembentukan ikatan primer. Proses pembentukan ikatan primer ini dapat terjadi karena adanya struktur rongga

berukuran nano (*nanocavity*) pada jaringan polimer hidrogel yang memungkinkan terjadinya ikatan hidrogel antara molekul air dan grup polar hidrogel (Ostrowska-Czubenko *et al.*, 2009). Proses ini akan menyebabkan hidrogel secara struktur membengkak (*swells*) dan berakibat terbukanya struktur hidrogel yang bersifat hidrofobik yang juga memiliki kemampuan untuk mengikat air, sehingga terbentuk ikatan sekunder. Total jumlah air terikat oleh ikatan primer dan sekunder disebut juga sebagai *total bound water* (Gulrez *et al.*, 2011). Selain oleh ikatan primer dan sekunder, air juga dapat diserap melalui gaya osmosis sampai tercapainya titik kesetimbangan (*equilibrium level*).

Proses pelepasan air terserap dalam struktur hidrogel dapat terjadi apabila kestabilan ikatan antara air dan struktur hidrogel yang terbentuk selama proses penyerapan terganggu. Beberapa stimulan luar yang dapat mengganggu stabilitas ikatan struktural hidrogel dan air meliputi perbedaan temperatur, tekanan, kelembaban, derajat keasaman dari media aplikasinya, dan juga karena hadirnya bahan kimia lain.

MATERIAL DAN APLIKASI HIDROGEL

Hidrogel dapat disintesis baik menggunakan polimer alami maupun sintesis. Terdapat tiga komponen utama material hidrogel yaitu polimer utama, polimer sekunder, dan material perantara pengkait silang (*cross-linking agents*). Polimer utama digunakan sebagai basis struktur hidrogel. Sedangkan polimer sekunder diutamakan untuk menambah properti hidrogel untuk tujuan peningkatan performa. Keberadaan dua polimer tersebut dapat saling dipertukarkan tergantung sifat-sifat hidrogel yang akan dicapai. Penggunaan material perantara pengkait silang bersifat opsional tergantung metode sintesis yang diterapkan. Beberapa teknik sintesis hidrogel, seperti metode radiasi, tidak menggunakan material pengkait silang, melainkan menggunakan radiasi berenergi tinggi (sinar gamma dan radiasi elektron). Beberapa polimer yang sudah digunakan sebagai material dasar hidrogel terkait dengan aplikasinya disajikan pada Tabel 1.

Hidrogel dapat disintesis menggunakan material tiruan, akan tetapi karena isu bio-

kompatibilitas terhadap lingkungan, penggunaan polimer sintetik mulai diminimalisasikan. Untuk bahan yang bersifat alami, alternatif polimer yang dapat digunakan adalah selulosa (Sannino *et al.*, 2009; Chang *et al.*, 2011), termasuk di dalamnya adalah *methyl cellulose* (MC)(Aouada *et al.*, 2011), *hydroxypropyl cellulose* (HPC), *hydroxypropylmethyl cellulose* (HPMC), dan *carboxymethyl cellulose* (CMC)(Nie *et al.*, 2004; Pourjavadi *et al.*, 2006). Selain itu, hidrogel juga dapat disintesis dengan menggunakan bahan polimer alami seperti *chitosan* dan turunannya (Dutta *et al.*, 2004; Jayakumar *et al.*, 2005; Rinaudo, 2006; Pillai *et al.*, 2009; Chatterjee *et al.*, 2010; Yang *et al.*, 2010; Zamani *et al.*, 2010).

TEKNIS SINTESIS HIDROGEL

Hidrogel terbentuk melalui proses gelasi (Gulrez *et al.*, 2011). Pada awalnya, sebelum terjadi proses interkoneksi jaringan polimer, material dasar hidrogel adalah berbentuk polimer

bercabang yang tersebar dalam cairan pelarut. Proses interkoneksi antar cabang polimer kemudian menghasilkan polimer bercabang dalam ukuran yang lebih besar yang dibarengi dengan penurunan derajat solubilitasnya. Proses ini berlanjut sampai dengan tercapainya titik gelasi (*gel point*), yaitu titik dimana hidrogel mencapai kestabilan secara struktur. Pada umumnya hidrogel memiliki struktur yang berongga dengan ukuran lebar yang bervariasi baik dalam skala nano dengan ukuran diameter 50-200 nm (*Scanning Electron Microscopy*-SEM) dengan area permukaan seluas ~300 m²/gram (*Brunauer Emmet Teller*-BET)(Kimura *et al.*, 2011), maupun skala mikro (~300 μm) tergantung jenis material dan teknik sintesis yang diterapkan.

Berdasarkan teknik pengkait-silang yang digunakan, teknik sintesis hidrogel dapat dikategorikan menjadi empat metode (Kunzler, 2003; Abdelhalim, 2006; Gulrez *et al.*, 2011), meliputi: metode polimerisasi radikal bebas, pengkaitan-silang secara fisik, kimiawi, dan melalui radiasi berenergi tinggi.

Tabel 1. Material dan aplikasi hidrogel

Bidang aplikasi	Material polimer	Sumber
Pertanian, pengelolaan limbah, teknologi separasi	<i>Starch, xanthan, polyvinyl alcohol, poly(vinyl methyl ether), poly(N-isopropyl acrylamide), chitosan, carboxymethyl cellulose</i>	(Aouada <i>et al.</i> , 2011; Rehman <i>et al.</i> , 2011), (Chatterjee <i>et al.</i> , 2010)
Kedokteran, perawatan luka	<i>Polyurethane, poly(ethylene glycol), poly(propylene glycol), poly(vinylpyrrolidone), polyethylene glycol, xanthan, methyl cellulose, carboxymethyl cellulose, alginate, hyaluronan, hydrocolloids</i>	(Yang <i>et al.</i> , 2010)
Farmasi (<i>drug delivery</i>)	<i>Poly(vinylpyrrolidone), starch, poly(vinylpyrrolidone), poly(acrylic acid) carboxymethyl cellulose, hydroxypropyl methyl cellulose, polyvinyl alcohol, acrylic acid, methacrylic acid, chitosan, αβ-glycerophosphate, κ-carrageenan, acrylic acid, 2-acrylamido-2-methylpropanesulfonic acid acrylic acid, carboxymethyl cellulose</i>	(Rani <i>et al.</i> , 2010; Zhou <i>et al.</i> , 2011)
Material gigi	<i>Hydrocolloids (Ghatti, Karaya, Kerensis gum)</i>	(Gulrez <i>et al.</i> , 2011)
<i>Tissue engineering</i> , teknologi implan	<i>Poly(vinylalcohol), poly(acrylic acid), hyaluronan, collagen</i>	(Gulrez <i>et al.</i> , 2011)
Sistem injeksi polimer	<i>Polyesters, polyphosphazenes, polypeptides, chitosan, β-hairpin peptide</i>	(Gulrez <i>et al.</i> , 2011)
Kosmetik	<i>Starch, gum arabic, xanthan, pectin, carrageenan, gellan, welan, guar gum, locust, bean gum, alginate, heparin, chitin, chitosan</i>	(Gulrez <i>et al.</i> , 2011)
Sensor	<i>Poly(vinyl alcohol), poly(acrylic acid), methacrylic acid, poly(ethylene glycol) dimethacrylate</i>	(Richter <i>et al.</i> , 2008)

Metode polimerisasi radikal bebas

Metode polimerisasi radikal bebas merupakan metode dasar yang sering digunakan dalam sintesis hidrogel. Metode ini terdiri atas empat tahap meliputi proses inisiasi, propagasi, transfer rantai dan terminasi. Pada proses inisiasi, radikal bebas dibentuk menggunakan inisiator termal, ultraviolet, maupun redoks. Radikal bebas yang sudah terbentuk kemudian bereaksi dengan monomer yang merubahnya menjadi bentuk aktif. Proses ini berulang, sehingga terbentuk banyak monomer aktif pada proses propagasi. Selanjutnya, proses propagasi berhenti apabila terbentuk suatu matrik rantai panjang radikal bebas yang stabil dan atau terjadinya transfer rantai radikal bebas untuk membentuk rantai baru. Metode ini dapat diterapkan untuk material hidrogel, baik yang berasal dari sintetik maupun alami.

Metode pengkaitan-silang secara fisik

Metode pengkaitan-silang secara fisik menghasilkan hidrogel yang bersifat non permanen. Keunggulan metode ini adalah prosesnya yang relatif mudah dan tidak memerlukan perantara pengkait-silang, yang pada kasus tertentu, penggunaan material perantara mengharuskan proses purifikasi lanjutan sebelum produk hidrogel dapat diaplikasikan. Beberapa teknik yang termasuk metode ini adalah (a) teknik pemanasan atau pendinginan, yang memanfaatkan perubahan sifat polimer terkait dengan perubahan temperatur lingkungan reaksi, (b) teknik interaksi ionik, yang memanfaatkan ikatan ionik dari

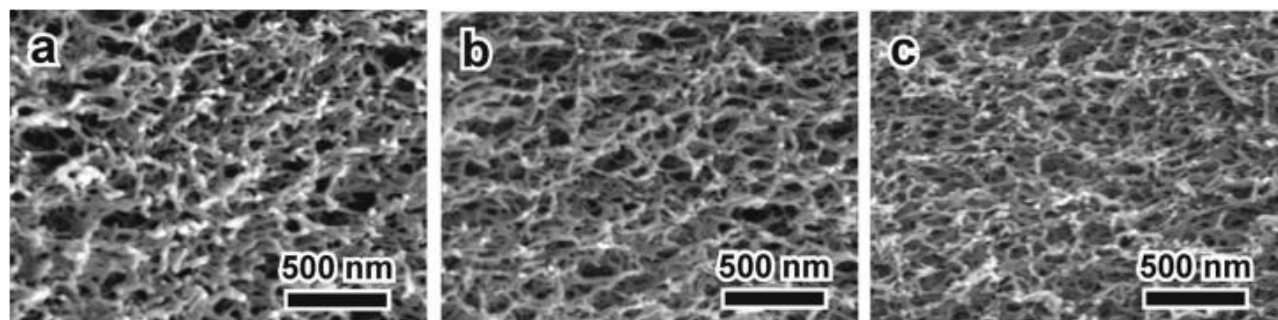
polimer yang memiliki kelompok fungsional, (c) teknik *complex coacervation*, melalui pencampuran *polyanion* dan *polycation*, (d) teknik *H-bonding*, yang memanfaatkan ikatan hidrogen untuk membentuk suatu rantai terkait-silang, (e) teknik pematangan, dan (f) teknik pembekuan atau pencairan.

Metode pengkaitan-silang secara kimiawi

Metode pengkaitan-silang secara kimiawi merupakan teknik sintesis hidrogel yang menggunakan bahan-bahan kimia tambahan sebagai perantara pengkait-silang untuk menghasilkan ikatan kovalen antar polimer yang bereaksi. Fungsi material perantara adalah sebagai jembatan penghubung antara polimer utama dan sekunder untuk membentuk satu ikatan kovalen. Selain itu, material perantara juga digunakan sebagai material yang berfungsi untuk mengaktifasi permukaan polimer utama sehingga dapat bereaksi dengan material sekunder. Contoh bahan kimia yang termasuk dalam perantara pengkait-silang ini adalah *aldehyde* (termasuk di dalamnya adalah *glutaraldehyde*, *adipic acid dihydrazide*). Metode ini menghasilkan hidrogel yang bersifat permanen dan dapat diaplikasikan pada material sintetik, alami, maupun kombinasi keduanya.

Metode pengkaitan-silang menggunakan radiasi

Metode radiasi memanfaatkan radiasi berenergi tinggi (seperti sinar gamma dan radiasi elektron) untuk membentuk kelompok fungsional di permukaan polimer utama, sehingga mampu membentuk rantai polimer yang terkait-silang.



Sumber : Kimura *et al.* (2011)

Gambar 1. Bentuk permukaan dan ukuran rongga hasil proses karakterisasi menggunakan SEM dari hidrogel yang disintesis dengan menggunakan material (a) selulosa murni, (b) selulosa teroksidasi, dan (c) kombinasi selulosa dan *chitosan-dialdehyde*

Metode ini mempunyai keunggulan yaitu mampu menghasilkan hidrogel murni yang hanya terdiri atas satu material, sehingga meminimalisasi resiko yang berkaitan dengan biokompatibilitas dengan lingkungan. Akan tetapi, metode ini juga memiliki kelemahan yaitu memerlukan peralatan yang relatif mahal, sehingga terkendala dalam proses produksinya. Proses radiasi dapat dilakukan pada media cair, pasta, dan solid.

METODE PENGUJIAN HIDROGEL

Pengujian hidrogel dapat dilakukan dengan teknik uji yang sederhana (Zohuriaan-Mehr *et al.*, 2008; Aouada *et al.*, 2011; Gulrez *et al.*, 2011). Teknik ini dapat diimplementasikan secara langsung tanpa menggunakan peralatan khusus untuk material nano, sehingga mampu menghemat biaya produksi secara keseluruhan. Beberapa proses uji hidrogel secara sederhana adalah:

1. *Free-absorbency capacity test* (Tang *et al.*, 2008), yaitu teknik yang digunakan untuk menghitung kapasitas tampung air hidrogel secara bebas (tanpa ada beban/*load*). Metode yang termasuk dalam teknik uji ini adalah metode *tea bag*, *centrifuge*, dan *sieve*. Pada metode *tea bag*, sampel hidrogel dimasukkan ke dalam sebuah kantung teh yang kemudian dicelupkan ke dalam air selama beberapa waktu sampai tercapai kesetimbangan (jenuh). Setelah air berlebih pada kantung teh dibuang dengan cara digantung, selisih antara berat kering dan berat basah dari kantung teh tersebut kemudian dihitung. Metode *centrifuge* hampir sama dengan metode *tea bag* kecuali pemisahan kelebihan air dilakukan dengan menggunakan *centrifuge*. Pada metode *sieve*, sampel tidak ditempatkan ke dalam kantung melainkan langsung dicampur ke dalam air, kemudian setelah tercapai kesetimbangan, sampel disaring menggunakan saringan khusus (ukuran dalam skala mikro) untuk kemudian selisih antara berat sampel kering dan basah dihitung.
2. *Absorbency Under Load (AUL test)* (Zohuriaan-Mehr *et al.*, 2008), yaitu perhitungan daya serap air hidrogel di bawah tekanan beban/*load*. Proses AUL test mirip dengan *free-absorbency capacity test*, kecuali adanya tambahan beban dalam

proses penyerapan air. Sampel kering dalam kantung khusus ditempatkan ke dalam wadah air kemudian diberi beban dengan berat tertentu untuk selanjutnya diberi air dalam volume tertentu sesuai dengan wadah. Berat kering dan basah sampel hidrogel kemudian diperbandingkan dengan mempertimbangkan beban yang diaplikasikan.

3. *Swelling rate test* (Rohindra *et al.*, 2004; Gunasekaran *et al.*, 2006), merupakan perhitungan kecepatan pembengkakan (*swell rate*) dari material hidrogel karena proses penyerapan air. Teknik ini meliputi metode *vortex*, yaitu perhitungan kecepatan penyerapan air hidrogel dari kondisi kering sampai mencapai status kesetimbangan, dan *swelling-time profile* untuk mengetahui profil kecepatan penyerapan beberapa cairan yang berbeda berdasarkan waktu.

Selain ketiga proses uji tersebut, beberapa teknik lain juga telah dilaporkan dapat diterapkan untuk pengujian hidrogel. *Swollen gel strength test*, merupakan salah satu teknik uji kekuatan mekanik dan modulus dari hidrogel melalui teknik analisis karakteristik reologi (Tang *et al.*, 2007), selain itu terdapat analisis *sol-gel* (Gulrez *et al.*, 2011) yang dapat digunakan untuk mencari estimasi nilai parameter pembentukan hidrogel seperti derajat pengkait-silang yang terbentuk.

TEKNIK KARAKTERISASI HIDROGEL

Karakterisasi merupakan tahapan yang sangat krusial dalam implementasi teknologi nano, karena material dalam ukuran nanometer (10^{-9} meter) tidak dapat dilihat secara kasat mata ataupun dengan bantuan mikroskop standar. Teknik karakterisasi dengan menggunakan peralatan khusus untuk material nano ditujukan untuk melihat secara langsung struktur material yang terbentuk selama proses sintesis hidrogel. Beberapa teknik yang masuk dalam kategori ini adalah karakterisasi dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)(Sannino *et al.*, 2009; Yang *et al.*, 2010; Kimura *et al.*, 2011; Zhou *et al.*, 2011), *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR)(Capitani *et al.*, 2001), *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)(Zhou *et al.*, 2008; Ostrowska-Czubenko

et al., 2009; Chatterjee *et al.*, 2010; Zamani *et al.*, 2010), *Differential Scanning Calorimetry* (DSC), *Thermogravimetric Analysis* (TGA) (Jayakumar *et al.*, 2005; He *et al.*, 2007), dan *Infrared Spectrophotometer* (He *et al.*, 2007).

KESIMPULAN

Hidrogel merupakan satu produk teknologi polimer yang mempunyai struktur tiga dimensi yang mampu menyerap atau melepas air berdasarkan stimulan eksternal. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa aplikasi hidrogel di bidang pertanian mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air irigasi dan mengurangi tingkat erosi secara signifikan. Selain itu, hidrogel juga dapat dijadikan media transfer untuk aplikasi pelepasan terkontrol pupuk dan atau pestisida. Isu utama penerapan hidrogel di bidang pertanian adalah belum diketahuinya tingkat toksisitas hidrogel terhadap lingkungan dan juga biaya produksinya. Penggunaan material polimer alami yang terbukti *bio-degradable* melalui pendekatan sintesis secara *bottom-up* dapat menjadi alternatif aplikasi hidrogel yang mudah, murah, *biocompatible*, dan aplikatif untuk tujuan peningkatan efisiensi penggunaan sumber daya air dalam menghadapi kelangkaan air karena perubahan iklim global.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelhalim, I.M.E.S. 2006. Preparation, Characterization, and In-Vitro Evaluation of Chitosan-Based Smart Hydrogels for Controlled Drug Release. Department of Chemistry. New Zealand, Massey University. Doctor of Philosophy: 240.
- Anah, L., N. Astrini, Suharto, A. Nurhikmat, dan A. Haryono. 2010. Studi awal sintesa carboxy methyl cellulose-graft-poly (acrylic acid)/monmorilonit superabsorben polimer hidro gel komposit melalui proses kopolimerisasi cangkok. *Berita Selulosa* 45(1):8.
- Aouada, F.A., M.R. Moura, and L.H.C. Mattoso. 2011. Biodegradable Hydrogel as Delivery Vehicle for the Controlled Release of Pesticide. *Pesticides-Formulations, Effects, Fate*. Stoytcheva, M. *In Tech*:808.
- Capitani, D., A.A. De Angelis, V. Crescenzi, G. Masci, and A.L. Segre. 2001. NMR study of a novel chitosan-based hydrogel. *Carbohydrate Polymers* 45(3):245.
- Chang, C. and L. Zhang. 2011. Cellulose-based hydrogels: present status and application prospects. *Carbohydrate Polymers* 84(1): 40.
- Chatterjee, S., T. Chatterjee, and S.H. Woo. 2010. A new type of chitosan hydrogel sorbent generated by anionic surfactant gelation. *Bioresource Technology* 101(11):3853.
- Dutta, P.K., J. Dutta, and V.S. Tripathi. 2004. Chitin and chitosan: chemistry, properties and application 63:12.
- Erizal dan I.W. Redja. 2010. Sintesis hidrogel superabsorben polietilen oksida-alginat dengan teknik teknik radiasi gamma dan karakterisasinya. *Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia* 8(1):8.
- Erizal dan A. Sunarni. 2009. Sintesis hidrogel superabsorbent poli (akrilamida-ko-asam akrilat) dengan teknik iradiasi dan karakterisasinya. *Jurnal Sains Materi Indonesia* 11(1):7.
- Gulrez, S.K.H., S. Al-Assaf, and G.O. Phillips. 2011. Hydrogels: Methods of Preparation, Characterisation and Applications. *Progress in Molecular and Environmental Bioengineering-From Analysis and Modeling to Technology Applications*. Carpi, A. *In Tech*:646.
- Gunasekaran, S., T. Wang, and C. Chai. 2006. Swelling of pH-sensitive chitosan-poly (vinyl alcohol) hydrogels. *Journal of Applied Polymer Science* 102:7.
- He, X.S., Z.W. Liao, P.Z. Huang, J.X. Duan, R.S. Ge, H.B. Li, and Z.C. Geng. 2007. Characteristics and performance of novel water-absorbent slow release nitrogen fertilizers. *Agricultural Sciences in China* 6(3):338.
- Hillel, D. 1997. *Small-Scale Irrigation for Arid Zones: Principles and Options*. New York, Natural Resources Management and Environment Department, FAO.
- Jayakumar, R., M. Prabakaran, R.L. Reis, and J.F. Mano. 2005. Graft copolymerized chitosan-present status and applications. *Carbohydrate Polymers* 62(2):142.
- Jhurry, D. 1997. *Agricultural polymers*. Conference Proceedings of the 2nd annual meeting of Agricultural Scientists, Mauritius.
- Kimura, S., N. Isobe, M. Wada, S. Kuga, J.H. Ko, and U.J. Kim. 2011. Enzymatic hydrolysis of chitosan-dialdehyde cellulose hydrogels. *Carbohydrate Polymers* 83(4):1850.

- Kunzler, J.F. 2003. Hidrogels. *Encyclopedia of Polymer Science*. Jon Wiley and Sons, Inc. 2:691.
- Nie, H., M. Liu, F. Zhan, and M. Guo. 2004. Factors on the preparation of carboxymethylcellulose hydrogel and its degradation behavior in soil. *Carbohydrate Polymers* 58(2):185.
- Ostrowska-Czubenko, J. and M. Gierszewska-Drużyńska. 2009. Effect of ionic crosslinking on the water state in hydrogel chitosan membranes. *Carbohydrate Polymers* 77(3):590.
- Pillai, C.K.S., W. Paul, and C.P. Sharma. 2009. Chitin and chitosan polymers: chemistry, solubility and fiber formation. *Progress in Polymer Science* 34(7):641.
- Pourjavadi, A., S. Barzegar, and G.R. Mahdavinia. 2006. MBA-crosslinked Na-Alg/CMC as a smart full-polysaccharide superabsorbent hydrogels. *Carbohydrate Polymers* 66(3):386.
- Rani, M., A. Agarwal, and Y.S. Negi. 2010. Chitosan based hydrogel polymeric beads-as drug delivery system. *Bio Resources*5(4):43.
- Rehman, A., R. Ahmad, and M. Safdar. 2011. Effect of hydrogel on the performance of aerobic rice sown under different techniques. *Plant Soil Environ* 7:5.
- Rekso, G.T. dan A. Sunarni. 2009. Karakteristik hidrogel polivinil alkohol-khitosan hasil iradiasi sinar gamma. *Jurnal Sains Materi Indonesia*10 (3):5.
- Richter, A., G. Paschew, S. Klatt, J. Lienig, K.F. Arndt, and H.J.P. Adler. 2008. Review on hydrogel-based pH sensors and microsensors. *Sensors* 8(1):21.
- Rinaudo, M. 2006. Chitin and chitosan: properties and applications. *Progress in Polymer Science* 31(7):603.
- Rohindra, D.R., A.V. Nand, and J.R. Khurma. 2004. Swelling properties of chitosan hydrogels. *The South Pacific Journal of Natural and Applied Sciences* 22(1):32.
- Sannino, A., C. Demitri, and M. Madaghiale. 2009. Biodegradable cellulose-based hydrogels: design and applications. *Materials* 2:353.
- Sojka, R.E., J.A. Entry, W.I. Orts, D.W. Modshita, C.W. Ross, and D. Horne. 2005. Synthetic and bio-polymer use for runoff water quality management in irrigated agriculture. *Water Science and Technology*. USDA 51:107.
- Subagio, H.A. 2009. Pengaruh Kandungan Hidrogel dan Jadwal Irigasi pada Pembibitan Tanaman Jarak Pagar. Departemen Agronomi dan Hortikultura. Bogor, Institut Pertanian Bogor. Sarjana : 47.
- Tamat, S.R., Erizal, dan C. Gunawan. 2008. Sintesis hidrogel poli(N-vinil-2-pirolidon-asam tartrat) secara iradiasi gamma dan karakterisasinya. *Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia* 6(1):8.
- Tang, Q., J. Wu, and J. Lin. 2008. A multifunctional hydrogel with high conductivity, pH-responsive, thermo-responsive and release properties from polyacrylate/polyaniline hybrid. *Carbohydrate Polymers* 73(2):315.
- Tang, Y.F., Y.M. Du, X.W. Hu, X.W. Shi, and J.F. Kennedy. 2007. Rheological characterisation of a novel thermosensitive chitosan/poly(vinyl alcohol) blend hydrogel. *Carbohydrate Polymers* 67(4):491.
- Tung, W.Y. and G.L. Lori. 1990. Hydrophilic polymers-their response to soil amendments and effect on properties of a soil less potting mix. *Journal of American Society for Horticultural Science* 115:943.
- Yang, C., L. Xu, Y. Zhou, X. Zhang, X. Huang, M. Wang, Y. Han, M. Zhai, S. Wei, and J. Li. 2010. A green fabrication approach of gelatin/CM-chitosan hybrid hydrogel for wound healing. *Carbohydrate Polymers* 82(4):1297.
- Zamani, A., D. Henriksson, and M.J. Taherzadeh. 2010. A new foaming technique for production of superabsorbents from carboxymethyl chitosan. *Carbohydrate Polymers* 80(4):1091.
- Zhou, H.Y., X.G. Chen, M. Kong, C.S. Liu, D.S. Cha, and J.F. Kennedy. 2008. Effect of molecular weight and degree of chitosan deacetylation on the preparation and characteristics of chitosan thermosensitive hydrogel as a delivery system. *Carbohydrate Polymers* 73(2):265.
- Zhou, H.Y., Y.P. Zhang, W.F. Zhang, and X.G. Chen. 2011. Biocompatibility and characteristics of injectable chitosan-based thermosensitive hydrogel for drug delivery. *Carbohydrate Polymers* 83(4):1643.
- Zohuriaan-Mehr, M.J. and K. Kabiri. 2008. Superabsorbent polymer materials : a review. *Iranian Polymer Journal* 17(6): 451.