

Bab I Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Menurut data *World Health Organization* (WHO), 2,2 miliar penduduk dunia kesulitan dalam mengakses air bersih. Sebanyak 1,4 miliar orang harus menempuh perjalanan selama 30 menit untuk mengambil dan membawa air ke rumah dan sebanyak 206 juta orang membutuhkan waktu lebih dari 30 menit (*World Health Organization*, 2019).

Setengah dari populasi dunia disinyalir tidak memiliki cukup air untuk kebutuhannya. Setidaknya satu bulan setiap tahun mereka kesulitan mendapatkan air untuk kebutuhan hidupnya. Sekitar 500 juta di antaranya tidak memiliki cukup air untuk kebutuhan sepanjang tahun. Orang membutuhkan sekitar 50 liter air per hari untuk memenuhi kebutuhan dasarnya (Halford, 14 Oktober 2018). Di Indonesia, dengan jumlah penduduk sekitar 250 juta orang, terdapat 33,4 juta orang yang kekurangan air bersih dan 99,7 juta jiwa kekurangan akses untuk fasilitas air yang baik (Rossa & Nodia, 2018).

Di Indonesia, saat kemarau panjang ada banyak daerah yang mengalami krisis air bersih. Di Kabupaten Gunungkidul Provinsi D.I. Yogyakarta, misalnya, masyarakat mesti menempuh jarak 1,5 kilometer untuk mendapatkan air bersih (Dinnata, 2019), dan di Kabupaten Malaka Timur Provinsi NTT masyarakat juga mesti berjalan menempuh jarak 2 kilometer (Raebesi, 2019). Bahkan di Kecamatan Cisarua, Kabupaten Bandung Barat sebagai daerah pertanian dan berada di dataran tinggi, masyarakat juga mengalami hal yang sama dan harus mencari air bersih setiap musim kemarau tiba (Enam Bulan Alami Kekeringan, 2019).

Salah satu strategi yang saat ini banyak dipelajari untuk memperoleh air dari sumber-sumber alternatif adalah dengan mengambil air secara langsung dari udara (Halford, 2018). Atmosfer kita mengandung air sebanyak $1,29 \times 10^{16}$ liter, dalam bentuk awan, kabut, dan uap air. Jumlah tersebut, secara keseluruhan hanya mewakili 0,001% dari total jumlah air di dunia, namun masih enam kali lebih banyak dari sungai-sungai yang ada di dunia sebagai sumber utama air minum (Halford, 2018).

Pengumpulan air dari atmosfer melalui metode pengumpulan kabut telah dilakukan sejak dahulu. Duret & Bauhin dan Charler (dikutip Azad, 2016) melaporkan bahwa lebih dari 400 tahun lalu di Kepulauan Canary terdapat pohon yang dinamakan ‘Pohon Hujan’ yang dapat menangkap kabut dan memasok air kepada penduduk setempat. Kemudian Schemenauer, R. and Cereceda, P. (dikutip Azad, 2016) pada tahun 1980, melaporkan sebuah proyek besar untuk mengatasi kelangkaan air di sebuah desa di Chili Utara dengan cara untuk mengumpulkan air dari udara melalui teknik pengumpulan kabut. Proyek tersebut menggunakan 100 pengumpul kabut yang terbuat dari jaring raschel berukuran panjang 12 m dan lebar 4 m. Hasilnya terbukti efektif, sederhana dan murah untuk menangkap dan mengumpulkan kabut, serta dapat memasok air yang cukup untuk 300 orang masing-masing sebanyak 33 L. Proyek seperti ini telah dilakukan di 40 negara (Azad, 2016), namun Indonesia tidak termasuk dalam proyek tersebut, padahal ada banyak wilayah di Indonesia yang memerlukan dan memperoleh manfaat dari teknologi seperti itu.

Jaring raschel polietilena memiliki sifat anti UV dan ketahanan kimia yang baik (Aziz, 2016). Jaring ini juga memiliki permeabilitas udara yang baik serta air yang dipanen oleh jaring dari udara dapat dikonsumsi dengan aman (Aziz, 2016; Fessehaye, Wahab, Savage, Kohler, Gherezghiher & Hurni, 2014). Jaring ini mudah ditemui di pasaran dengan harga yang relatif murah serta banyak digunakan pada sektor pertanian yaitu sebagai penghalang sinar matahari dan air hujan ke tanaman (Ramadhan & Hariyono, 2019).

Jarimi dkk. (2019) berpendapat metode pengumpulan air dari kabut menggunakan jaring raschel tersebut bersifat pasif sehingga digolongkan sebagai metode pengumpulan air konvensional. Lebih lanjut Jarimi dkk. (2019) menyatakan bahwa metode pengumpulan air dari kabut secara modern mengikuti prinsip kerja biologis yang digunakan oleh hewan dan tumbuhan khususnya yang ada di daerah kering atau semi kering. Contoh prinsip kerja biologis yang telah diamati yaitu seperti pada pola punggung kumbang Black Beetle (*Onymacris unguicularis*), dan pada duri dan trikoma pohon kaktus (Sarsour, Stegmaier & Goetz, 2017; Ju, Bai, Zheng, Zhao, Fang & Jiang, 2012). Ju dkk. (2012) melaporkan bahwa tetesan air pada tulang belakang kaktus dapat dengan cepat

dipindahkan ke batangnya didorong oleh perbedaan kebasahan (*wettability*) antara duri dan trikoma, yang disebabkan oleh adanya struktur hidrofobik dan hidrofilik. Kesimpulan dari hasil studi terhadap fenomena alam tersebut menjadi elemen kunci untuk pemanenan air dengan teknologi tekstil, yaitu dengan menciptakan suatu struktur hidrofobik dan hidrofilik yang komplementer dan hierarkis pada bahan tekstil pemanen air (Cao, Xiao, Yu, Li, & Jiang, 2015). Berdasarkan kesimpulan tersebut, penelitian yang dilakukan oleh Cao dkk. (2015) serta Ren, Li, Z. Zhang, X. Zhang, Fan, Zhou, Wang, Y. Zhang, Wang, Mu, & Su (2017) mengusulkan permukaan bahan dengan keterbasahan yang berbeda (hidrofobik/hidrofilik) di kedua sisi permukaan material untuk mencapai kondisi seperti pada kaktus dan sistem alam serupa lainnya.

Selain hal tersebut di atas, terdapat beberapa penelitian yang menciptakan bahan tekstil yang dapat berubah sifat dari hidrofobik ke hidrofilik dan sebaliknya (*switchable*) sebagai cara untuk menangkap dan memanen air langsung dari udara. Perubahan sifat tersebut dipicu oleh perubahan temperatur antara siang dan malam serta dapat diulang dan dibalik secara terus menerus secara otomatis sesuai siklus pergantian siang dan malam (Yang, Zhu, Hendrix, Lousberg, With, Esteves, & Xin, 2013). Yang dkk. (2013) memodifikasi kain kapas secara kimia dengan polimer termoresponsif PNIPAAm (poli N-isopropilakrilamida) untuk menciptakan sifat hidrofobik dan hidrofolik di permukaannya. Hal tersebut menciptakan peralihan sifat keterbasahan kain kapas yang dapat berlangsung berulang (*reversible*) diantara dua keadaan keterbasahan yaitu hidrofobik dan hidrofilik yang dipengaruhi oleh temperatur. Keadaan tersebut adalah hasil dari perubahan struktural polimer termoresponsif yang peka terhadap temperatur dan mengalami transisi yang dinyatakan sebagai *lower critical solution temperature* (LCST) (Yang dkk., 2013).

Yang dkk. (2013) melaporkan modifikasi kain kapas dengan PNIPAAm melalui metode pencangkokan dan polimerisasi PNIPAAm pada kain kapas. Proses tersebut dilakukan melalui serangkaian prosedur kimia yang cukup panjang dan rumit serta memakan waktu lama yang dikenal sebagai *surface-initiated atom transfer radical polymerization* (SI-ATRP) atau polimerisasi radikal perpindahan atom pada permukaan. Kain kapas yang telah dicangkok dan dipolimerisasi

dengan PNIPAAm memperlihatkan penangkapan dan pelepasan air secara mandiri mengikuti siklus perubahan temperatur di sekitar LCSTnya yaitu pada temperatur 32°C.

Selain dengan prosedur SI-ATRP yang relatif panjang dan rumit, pencangkakan dan polimerisasi pada permukaan bahan dapat dilakukan dengan iradiasi plasma (Wang & McCord, 2007). Dengan iradiasi plasma, permukaan bahan diaktivasi untuk menghasilkan situs aktif permukaan berupa radikal bebas yang nantinya menjadi titik pusat pencangkakan dan inisiasi pertumbuhan polimer pada permukaan bahan secara “*grafting from*” (Wang & McCord, 2007).

Dari studi literatur di atas timbul suatu pemikiran untuk mengaktivasi jaring raschel polietilena. Aktivasi jaring dilakukan dengan jalan menciptakan permukaan jaring yang bersifat hidrofilik dan hidrofobik dengan memodifikasi jaring dengan polimer termoresponsif PNIPAAm. Jaring yang telah termodifikasi polimer termoresponsif diharapkan dapat menangkap dan melepas air secara otonom dan berlangsung berulang sesuai dengan siklus temperatur lingkungan. Atas dasar pertimbangan tersebut, penulis mengajukan penelitian tesis yang berjudul: **“Studi Penangkapan dan Pemanenan Air dari Udara Menggunakan Jaring Raschel yang dimodifikasi dengan Polimer Termoresponsif”**. Dari studi literatur yang telah dilakukan, polimer termoresponsif PNIPAAm telah dimodifikasi pada berbagai bahan tekstil seperti contohnya pada kapas (Yang dkk., 2013), polisterina (Wang & McCord, 2007) dan nilon (Wang & McCord, 2007; Katesripangsa & Trongsatitkul, 2019) sebagai penangkap dan pelepas air. Namun belum ditemukan penelitian jaring raschel polietilena yang dimodifikasi dengan polimer termoresponsif PNIPAAm sebagai penangkap dan pemanenan air dari udara.

I.2 Rumusan Masalah

Strategi untuk meningkatkan penangkapan dan pemanenan air dari udara oleh jaring raschel polietilena adalah dengan mengaktifkan permukaan jaring dengan jalan menciptakan struktur hidrofobik/hidrofilik pada permukaannya. Salah satu caranya adalah dengan memodifikasi permukaan jaring secara kimia menggunakan polimer termoresponsif PNIPAAm.

Berdasarkan hal tersebut, permasalahan dapat dirumuskan dalam bentuk pertanyaan sebagai berikut:

1. Apakah jaring raschel polietilena yang dimodifikasi dengan PNIPAAm dapat membentuk perilaku penangkapan dan pelepasan air mengikuti perubahan temperatur?
2. Apakah jaring raschel polietilena yang dimodifikasi dengan PNIPAAm mampu mengumpulkan air lebih banyak jika dibandingkan dengan jaring raschel polietilena blanko?
3. Faktor apa sajakah yang mempengaruhi penangkapan dan pemanenan air pada jaring raschel polietilena yang dimodifikasi dengan PNIPAAm?
4. Bagaimanakah cara mengatur faktor-faktor tersebut agar diperoleh pemanenan air secara maksimal?

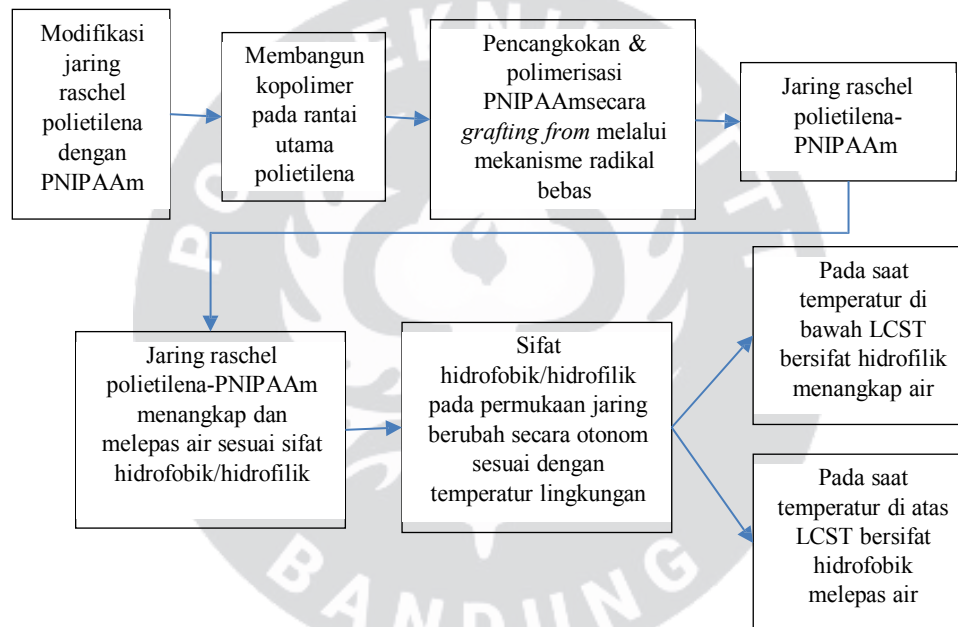
I.3 Kerangka Pemikiran

Modifikasi kimia jaring raschel polietilena dengan PNIPAAm dilakukan dengan membangun kopolimer pada rantai utama polietilena dengan jalan mencangkokkan monomer NIPAAm sekaligus polimerisasi PNIPAAm pada permukaan jaring raschel. Teknik pencangkokan tersebut menggunakan metode *grafting from* pada rantai utama polietilena (Sherazi, 2016; Hadjichristidis, Pitsikalis, Latrou, Driva, Chatzichristidi, Sakellariou & Lohse, 2010). Metode *grafting from* adalah metode pencangkokan monomer pada situs aktif yang dihasilkan di sepanjang tulang punggung rantai polietilena (Sherazi, 2016; Hadjichristidis dkk., 2010).

Berbeda dengan kapas, polietilena hampir dapat dikatakan inert karena tidak memiliki gugus-gugus reaktif di sepanjang rantai utamanya, dengan demikian dibutuhkan suatu proses untuk mengaktifkan situs aktif pada rantainya. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk pembentukan situs aktif tersebut, baik itu metode kimia maupun metode iradiasi seperti iradiasi plasma (Ahmed, El-Halwagy, Abdel-Aaty, & Garamoon, 2019; Katesripongsa & Trongsatitkul, 2019; Hetemi & Pinson, 2017). Situs aktif yang tercipta dari hasil iradiasi plasma dapat berupa radikal bebas dan/atau gugus fungsi pada rantai polietilena yang

digunakan sebagai pusat pencangkakan dan inisiasi polimerisasi PNIPAAm secara grafting form melalui mekanisme radikal bebas.

PNIPAAm memiliki titik LCST 32°C , dimana ketika temperatur lingkungan di bawah 32°C polimer bersifat hidrofilik, dan ketika temperatur di atas 32°C bersifat hidrofobik (Yang dkk., 2013). Modifikasi PNIPAAm pada jaring raschel diharapkan dapat menciptakan struktur hidrofobik/hidrofilik pada permukaan jaring yang dipicu oleh perubahan temperatur. Pada fase hidrofilik jaring akan mengikat air dari udara, sebaliknya pada fase hidrofobik jaring akan melepaskan air. Secara skematik, kerangka pemikiran pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar I.1.



Gambar I.1 Kerangka pemikiran

I.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah membuat jaring yang dapat menangkap, menyerap/menyimpan dan melepaskan air sesuai dengan siklus perubahan temperatur di sekitarnya secara otonom melalui pencangkakan dengan polimer termoresponsif PNIPAAm untuk meningkatkan kemampuan jaring raschel polietilena dalam mengumpulkan air.

I.5 Metodologi Penelitian

PNIPAAm sebagai bahan polimer cerdas yang peka terhadap temperatur sekitar, dapat digunakan dalam aplikasi dalam penangkapan dan pemanenan air oleh tekstil. Dalam penelitian ini jaring raschel polietilena dimodifikasi secara kimia menggunakan PNIPAAm untuk mendapatkan aktivitas dalam penangkapan dan pemanenan air yang dipicu oleh temperatur seperti yang telah dijelaskan pada latar belakang di atas.

Metode yang dipilih adalah dengan membentuk situs aktif pada rantai polietilena dengan proses iradiasi plasma. Plasma yang digunakan pada penelitian ini adalah plasma non termal dengan jenis plasma bertekanan atmosfer dengan metode lucutan korona. Plasma tersebut dipilih mengingat bahan tekstil yang sensitif terhadap panas dan plasma ini desainnya tergolong sederhana dan dapat menghasilkan plasma yang relatif stabil. Permukaan jaring yang diiradiasi plasma membentuk radikal bebas sebagai situs aktif sebagai pusat pencangkakan monomer NIPAAm secara *grafting from* serta sebagai inisiasi polimerisasi PNIPAAm melalui mekanisme radikal bebas (Wang & McCord 2007, Yang dkk., 2013; Lanzalao, Turon, Wels, Aleman & Armelin, 2019). Dengan tumbuhnya rantai polimer PNIPAAm tersebut akan membentuk polimer sikat (*polymer brushes*) pada permukaan jaring.

Penumbuhan polimer NIPAAm yang tertambat pada rantai polietilena diukur kadar pencangkokannya (*Grafting Yield/GY*) dengan metode perbandingan selisih berat jaring sebelum dan sesudah pencangkakan. Kemudian fenomena yang terjadi pada permukaan jaring setelah termodifikasi PNIPAAm dalam aktivitasnya sebagai penangkap dan pemanen air diamati dengan mengukur volume air dari kabut yang dapat ditangkap (*water uptake/WU*) atau dikumpulkan (*collecting*) pada variasi temperatur lingkungan yang terkondisi.

I.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tesis ini dibagi menjadi lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

- Bab I Pendahuluan, berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, kerangka pemikiran, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

- Bab II Tinjauan Pustaka, berisi literatur tentang: penangkapan dan pemanenan air dari kabut oleh jaring raschel polietilena, pengaruh struktur hidrofobik/hidrofilik pada permukaan dalam penangkapan dan pemanenan air dari udara, modifikasi permukaan bahan oleh polimer termoresponsif untuk menciptakan permukaan yang hidrofobik/hidrofilik, modifikasi polimer pada permukaan bahan, dan pengujian penangkapan dan pemanenan air dari kabut.
- Bab III Metodologi Penelitian, berisi metodologi percobaan yang dilakukan beserta alat dan bahan yang dibutuhkan.
- Bab IV Data dan Analisis, berisi data hasil penelitian dan analisis sesuai dengan studi literatur yang sudah dilakukan.
- Bab V Kesimpulan dan Saran, berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.

