

## Bab I Pendahuluan

### I.1 Latar Belakang

Termoregulasi pada tubuh manusia adalah suatu proses untuk menjaga suhu tubuh tetap pada rentang normal sehingga fungsi metabolisme dan kenyamanan tetap terjaga. Untuk menjaga proses ini berjalan dengan baik, maka diperlukan pelindung tubuh untuk mengontrol suhu dari pengaruh cuaca luar. Fungsi utama pakaian sejak awal peradaban manusia hingga kini masih sama, yaitu untuk memberikan perlindungan, terutama dari faktor cuaca dan kontak mekanik dengan benda berbahaya di sekelilingnya. Perkembangan fungsi pakaian dalam perspektif sosial dan kreatifitas manusia tidak lantas menghilangkan fungsinya yang paling mendasar, yaitu melindungi pemakainya dari bahaya eksternal dan ketidaknyamanan. Belakangan, fungsi tersebut dikaitkan pula dengan unjuk kerja (*performance*). Salah satu fungsi perlindungan yang diperlukan pada pakaian untuk menjaga keselamatan dan kenyamanan adalah pengaturan suhu tubuh. Selama ini, pengaturan tersebut dilakukan melalui pemilihan jenis pakaian dan bahan tekstil menyesuaikan dengan kondisi eksternal dan memerlukan intervensi aktif dari pengguna. Fungsi tersebut umumnya hanya terjadi satu arah, yaitu sebagai pelindung dingin atau membantu mentransfer panas dari sisi dalam ke luar saja. Keadaan ini akan menghilangkan rasa nyaman seperti gerah dan kepanasan saat terjadi akumulasi panas tubuh yang terus-menerus terjebak dalam pakaian, atau kedinginan saat sistem tubuh sudah cukup mengeluarkan panas berlebihnya, tetapi paparan udara dingin tetap masuk karena tidak tertahan oleh pakaian.

Kulit tubuh manusia merupakan bagian dari suatu sistem cerdas yang mampu memicu serangkaian tindakan (*responses*) *self-thermoregulation* atau swa-termoregulasi untuk menjaga suhu tubuh pada rentang aman dan nyaman bagi keselamatan dan kesehatan. Pada kondisi cuaca ekstrim, sistem termoregulasi tubuh manusia tidak mampu mengatasi fluktuasi suhu yang ekstrim, sehingga diperlukan suatu sistem yang merupakan perpanjangan dari sistem kulit dan menjadi “kulit

kedua". Pada kondisi yang tidak ekstrim sekalipun, sistem ini dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan performa atau unjuk kerja pemakai.

*Phase change material* (PCM) sebagai *thermal energy storage* (TES) yang bersifat pasif (Hale *et al.*, 1971) memiliki fungsi untuk mengontrol suhu. Keunikan PCM terletak pada kemampuannya berubah fasa disertai dengan penyerapan dan pelepasan sejumlah tertentu kalor. Kemampuan PCM dalam hal menyerap dan melepaskan panas ini dimanfaatkan dalam bidang tekstil sebagai material penyempurnaan untuk mendapatkan sifat bahan yang memiliki kemampuan responsif dan adaptif terhadap perubahan suhu luar, dan menjaga suhu lingkungan mikro (*microclimate*) pada suatu rentang tertentu yang diinginkan. Tujuan utamanya adalah melindungi pemakai dari paparan perubahan suhu lingkungan sehingga kenyamanan termal dapat tetap dipertahankan, baik dalam kondisi cuaca panas maupun dingin.

Pemanfaatan PCM sebagai penyimpan panas yang dapat diaplikasikan pada material tekstil untuk menghasilkan suatu produk yang memiliki sifat responsif dan adaptif terhadap berbagai kondisi cuaca memiliki prospek masa depan yang sangat baik mengingat pemanfaatannya masih sangat terbatas. Tidak seperti bidang konstruksi ataupun transportasi barang dan lain-lain, aplikasi PCM pada bahan tekstil belum terlalu banyak berkembang karena persyaratan proses maupun produk akhirnya harus menyesuaikan dengan tujuan penggunaan dan keunikan material tekstil yang bersifat fleksibel dan berpori. PCM organik dan campurannya yang dapat berubah fasa pada rentang suhu 18-65°C cocok untuk dipakai pada aplikasi tekstil dan bangunan (Sarier and Onder, 2012). Rentang suhu tersebut cukup lebar sehingga memungkinkan pengembangan produk penyempurnaan untuk kenyamanan termal tekstil dengan ragam aplikasi yang luas seperti otomotif, furnitur dan perlengkapan rumah tangga, perlengkapan aktifitas *outdoor*, dan garmen yang bersentuhan langsung dengan kulit. Dalam aplikasi tekstil, produk penyempurnaan kenyamanan termal berbasis PCM harus memiliki rentang perubahan fasa yang mendekati suhu tubuh manusia, yaitu 35°C (Mondal, 2008b). Untuk mencapainya, dapat digunakan bahan PCM berbasis *n*-alkana seperti eikosan (C<sub>20</sub>H<sub>42</sub>) (Alkan, Sari and Karaipekli, 2011) atau PEG (polietilena glikol) 1000

(Hopp *et al.*, 2000). Kelebihan PCM dengan bahan-bahan tersebut adalah kemurniannya yang tinggi sehingga proses karakterisasi dan hasil produk yang dihasilkan baik dan stabil dalam siklus membeku, meleleh, dan entalpinya.

Bahan lain yang dapat dijadikan sebagai PCM adalah lilin parafin yang merupakan campuran normal-, iso-, siklo-alkana dan alkil benzena (Luyt and Krupa, 2008). Kelebihannya adalah kemudahan untuk didapat di pasaran, khususnya perusahaan penyedia kimia industri tekstil di Bandung dan harga yang relatif murah terutama untuk lilin parafin dengan kelas mutu industri (*industrial grade*) dengan kisaran harga USD 1.8 - 2.3 per kg. Hal inilah yang mendasari dilakukannya penelitian ini, yaitu untuk mendapatkan produk penyempurnaan kenyamanan termal berupa mikrokapsul berinti PCM lilin parafin *kelas mutu industri* (S. Himran, 1994) dan aplikasinya pada kain dengan menggunakan metode penyempurnaan yang sudah umum dikerjakan oleh industri tekstil di Indonesia. Metode penyempurnaan yang dimaksud meliputi *spray coating*, benam peras-pengeringan-pemanasawetan dan pencapan.

Pada pemakaian PCM organik yang melalui siklus meleleh dan membeku diperlukan suatu cara agar pada saat meleleh PCM tersebut tidak menumpahi bahan secara sembarang. Untuk itu, PCM perlu disimpan di dalam suatu sistem kemasan yang memungkinkannya melalui siklus perubahan fase secara berulang dan konsisten tanpa resiko berkurang karena kehilangan pada saat meleleh. Mikroenkapsulasi adalah teknik mengemas suatu bahan inti, termasuk juga PCM, ke dalam suatu kemasan berbentuk kapsul (biasanya bulat) berukuran mikrometer yang terbuat dari bahan polimer. Melamin formaldehida merupakan salah satu polimer yang sudah banyak diteliti (Palanikkumaran *et al.*, 2010) dan memberikan hasil yang baik sebagai bahan cangkang/kapsul untuk mengkapsulasi PCM. Di antara kelebihan melamin formaldehida sebagai kapsul adalah memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, bentuk morfologi yang sesuai untuk struktur kapsul *thermal energy storage*, dan konduktifitas termal yang baik, harga ekonomis dan juga mudah didapatkan dari perusahaan *supplier* kimia tekstil. Hal-hal tersebut menjadi dasar pemilihan melamin formaldehida sebagai bahan cangkang atau kapsul dalam penelitian ini.

## I.2 Identifikasi Masalah

Lilin parafin yang tersedia di pasar umumnya terbagi dalam dua jenis, yaitu cair dan padat. Dari literatur diketahui bahwa titik leleh lilin parafin padat berada pada kisaran 65 °C, masih jauh lebih tinggi dari rentang tubuh manusia. Dari beberapa penelitian telah diketahui bahwa mencampurkan dua jenis PCM atau lebih dengan titik leleh yang berbeda menghasilkan nilai titik leleh, titik beku, dan entalpi yang berbeda dari keadaan tunggalnya masing-masing. (Cho and Choi, 2000) (Bo, Gustafsson and Setterwall, 1999) (Krupa and Mikova, 2007). Temuan tersebut mengantarkan kepada suatu pemikiran bahwa sifat-sifat termal PCM lilin parafin dapat direkayasa dan diatur sesuai kehendak dan keperluan dengan cara pencampuran lilin parafin yang berbeda jenis. Jika pencampuran dilakukan dengan baik maka sangat dimungkinkan untuk memperoleh suatu bahan PCM baru yang bersifat tunggal. Teknik ini akan memberikan keleluasaan dalam perancangan suatu mikrokapsul PCM yang tidak dibatasi hanya dengan satu atau dua jenis lilin parafin yang sudah ditentukan sifat-sifat termalnya. Lilin parafin baru dengan sifat-sifat termal yang diinginkan bisa dicapai dengan pencampuran.

Dengan berbagai uraian yang telah disampaikan pada bagian latar belakang masalah, maka dapat diidentifikasi beberapa masalah (*research question*) yang perlu dijawab melalui penelitian ini:

1. Teknik mana yang paling tepat untuk proses sintesa mikrokapsul-PCM dengan menggunakan lilin parafin sebagai inti dan melamin formaldehida sebagai kapsulnya?
2. Apakah mencampurkan lilin parafin fasa padat-cair dapat memodifikasi rentang suhu PCM yang dihasilkannya?
3. Bagaimana karakteristik mikrokapsul yang dibuat dari lilin parafin fasa campuran padat-cair dan melamin formaldehida menggunakan teknik yang telah ditentukan pada tahap penelitian sebelumnya?

4. Bagaimana sifat kenyamanan termal kain yang dihasilkan dari aplikasi mikrokapsul PCM lilin parafin-melamin formaldehida dengan proses penyempurnaan metode *peras-pengeringan-pemanasawetan* dan *pencapan*?

### I.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud penelitian ini adalah untuk menghasilkan mikrokapsul-PCM yang dapat diaplikasikan pada bahan tekstil dan menghasilkan sifat nyaman termal yang baik serta sesuai dengan rentang suhu tubuh manusia, dengan bahan-bahan jenis *kelas mutu industri* yang murah dan mudah diperoleh.

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menentukan teknik paling tepat untuk proses sintesa mikrokapsul-PCM dengan menggunakan lilin parafin sebagai inti (*core*) dan melamin formaldehida sebagai cangkang (*shell*).
2. Memodifikasi rentang suhu lilin parafin agar sesuai dengan rentang suhu tubuh manusia dengan cara mencampurkan lilin parafin fasa padat dan cair, serta mengkarakterisasi hasil pencampurannya.
3. Membuat mikrokapsul-PCM lilin parafin campuran-formaldehida menggunakan teknik yang telah ditentukan pada tahap penelitian sebelumnya, *men-scale up* jumlahnya agar dapat diaplikasikan, serta mengkarakterisasi hasilnya.
4. Mengaplikasikan mikrokapsul yang diperoleh pada kain dengan metode semprot, *peras-pengeringan-pemanasawetan* dan/atau *pencapan*, serta mengevaluasi sifat kenyamanan termalnya.

### I.4 Manfaat Penelitian

Aspek kemanfaatan terbesar dari keberhasilan penelitian ini adalah:

1. Bagi Politeknik STTT, dalam konteks pengembangan khasanah keilmuan, penelitian di bidang yang termasuk baru ini dapat menjadi sumbangan bagi pengembangan keahlian baru, terutama dalam membangun pengetahuan, keterampilan dan keahlian di bidang sintesa, terutama mikrokapsul dan PCM sebagai *core-nya*, serta bidang nyaman termal untuk bahan-bahan tekstil.

2. Bagi komunitas industri, penggunaan material jenis *kelas mutu industri* dapat menjadi peluang besar untuk dikembangkan dalam tahap *scale-up* hingga komersialisasi, sehingga membuka cakrawala baru pengembangan material penyempurnaan tekstil yang lebih responsif dan adaptif.
3. Beberapa temuan dalam penelitian ini seperti pencampuran lilin parafin padat dan cair untuk memodifikasi rentang suhu perubahan fasa, penggunaan lilin parafin kelas mutu industri yang bisa didapat dari perusahaan penyedia bahan kimia lokal dapat menjadi aspek kebaruan.

## I.5 Kerangka Pemikiran

PCM sebagai *thermal energy storage* (TES) harus dikapsulasi agar kandungan PCM tidak hilang atau secara drastis berkurang akibat terjadinya kebocoran saat terjadi perubahan fasa yang umumnya terjadi secara berulang bahkan sampai ribuan kali. Dalam bidang tekstil, umumnya PCM dikapsulasi pada ukuran mikrometer atau nanometer untuk mencapai integrasi secara permanen ke dalam serat.

Mikrokapsul untuk TES harus memenuhi beberapa kriteria pokok, yaitu: a) memiliki kekuatan mekanik yang baik; b) kandungan PCM dalam mikrokapsul terjaga dari kontaminasi luar dan kebocoran; c) rentang suhu perubahan fasa sesuai dengan aplikasi kebutuhan; dan d) adanya kemudahan dalam proses sintesa dan aplikasi mikrokapsul ke dalam bahan tekstil.

Polimer melamin formaldehid sebagai cangkang memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, terlebih dengan adanya 6 gugus aktif yang dapat berikatan silang membentuk struktur polimer yang kompleks, sehingga dapat menjadi cangkang yang kuat dan memiliki impermeabilitas yang tinggi. Namun demikian, dari studi literatur diketahui bahwa hanya 1 – 3 gugus aktif saja dari monomer MF yang dapat berikatan, sehingga menghasilkan struktur polimer cangkang yang memiliki permeabilitas yang tinggi (Zhang *et al.*, 2017). Oleh karena itu, diperlukan modifikasi dengan menggunakan zat pengikat silang untuk menghasilkan struktur polimer yang kompleks. Jenis zat pengikat silang yang digunakan adalah PVA yang memiliki gugus-gugus hidroksil dan diharapkan mampu membentuk ikatan hidrogen yang lebih masif antar molekul-molekul MF.

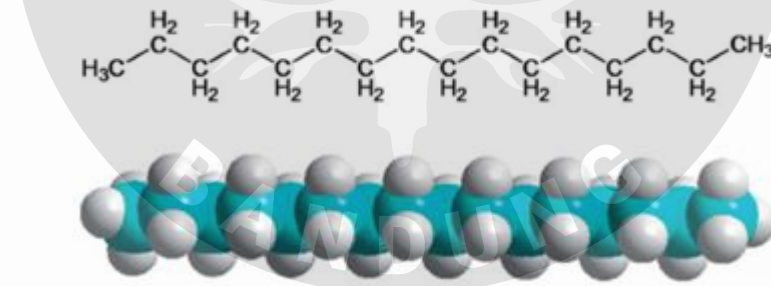
Faktor lain yang sangat penting dalam proses pembuatan mikrokapsul TES adalah PCM sebagai inti kapsul harus memiliki rentang suhu perubahan fasa sesuai dengan aplikasi. Secara umum, jenis lilin parafin kelas mutu industri yang dijual di pasar adalah jenis padat dan cair. Rentang suhu perubahan fasa kedua jenis lilin parafin tersebut sudah memenuhi kriteria untuk aplikasi tekstil. Eksplorasi dengan melakukan pencampuran kedua jenis lilin parafin padat dan cair tersebut berpotensi menghasilkan PCM baru yang memiliki rentang suhu perubahan fasa yang lebih akurat untuk kebutuhan-kebutuhan tertentu. Hal tersebut memberikan keuntungan ekonomis yang besar dalam kegiatan industri terutama menyangkut kesederhanaan penanganan produksi dan biaya belanja serta penyimpanan. Oleh karena itu penelitian tentang pencampuran dua jenis lilin parafin ini dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat campurannya dan mengkapsulasi PCM hasil pencampuran tersebut.

Faktor penting lain dalam penelitian ini adalah bagaimana mikrokapsul PCM yang telah disintesa tersebut dapat diaplikasikan dengan baik ke dalam bahan tekstil ke dalam bahan tekstil dengan menggunakan metode-metode yang umum dikerjakan di industri tekstil dengan hasil permanen, memiliki durabilitas baik, serta tidak merusak struktur dan sifat mikrokapsul yang sudah terbentuk. Hasil aplikasi mikrokapsul tersebut harus memberikan efek bahan tekstil yang memiliki kenyamanan termal yang bersifat adaptif dan responsif, namun tetap memiliki faktor-faktor kenyamanan lainnya seperti sirkulasi udara, daya serap air, *moisture regain*, kehalusan pegangan kain, hingga *tactile comfort*, sehingga tercapai optimasi antara fungsi termal dan kenyamanan pakai (Sarier and Onder, 2012). Aplikasi mikrokapsul, baik pada satu atau dua sisi permukaan kain harus merata. Beberapa teknik yang umum digunakan diantaranya dengan cara rendam peras-pengeringan-pemanasawetan untuk mengaplikasikan mikrokapsul pada seluruh permukaan kain, penyemprotan pada salah satu sisi permukaan, dan pencapan untuk memperoleh aplikasi mikrokapsul pada bagian-bagian tertentu kain berupa motif atau gambar.

Sarier dan Onder (Sarier and Onder, 2012) mengelompokkan PCM yang memiliki rentang titik beku dan leleh antara 18-65<sup>0</sup>C adalah cocok untuk penggunaan

kenyamanan termal pada bidang tekstil dan bangunan. Aplikasi tekstil dengan rentang suhu tersebut dapat diterapkan pada bidang garmen, otomotif, furnitur, *bed sheet*, tenda, kantung tidur, dan lain sebagainya. Lilin parafin adalah salah satu material organik golongan alkana yang memiliki rentang suhu tersebut, dengan struktur kimia umum sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 1.1 di bawah ini.

Lilin parafin merupakan senyawa hidrokarbon alifatik dengan rumus kimia  $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_n-\text{CH}_3$ . Secara umum, parafin memiliki sifat rentang titik leleh dan beku yang sempit, entalpi yang besar, *low toxicity*, *non-flammable*, stabil, konduktivitas termalnya tinggi, mudah didapatkan dan murah (Mondal, 2008b). Panjangnya rantai hidrokarbon menyebabkan parafin yang berbentuk padat memiliki titik leleh yang cukup tinggi karena terbentuknya gaya-gaya Van der Waals antar rantai molekul yang cukup kuat. Dalam fasa cair, secara teori, rantai molekul memiliki jarak interaksi yang lebih jauh, sehingga kekuatan interaksinya pun lebih lemah dibandingkan dengan rantai molekul yang berinteraksi lebih dekat. Dengan demikian, gaya-gaya yang terbentuk antar molekul tersebut lebih mudah diputuskan hanya dengan pemanasan pada suhu yang lebih rendah.



Gambar I.1 Struktur Kimia Lilin Parafin

Dalam konteks rantai karbon sejenis, dua jenis lilin parafin yang berbeda fasa, yaitu fasa solid dan cair, diduga dapat memberikan konsekuensi perubahan sifat fisik dari hasil pencampurannya. Dilihat dari karakteristik rantai karbonnya, tidak ada kemungkinan perubahan kimia ataupun interaksi dalam skala atomik yang dapat terjadi karena rantainya bersifat alifatik dengan kepolaran yang sangat rendah. Dengan demikian, modifikasi sifat fisika kemungkinan besar terjadi sebagai akibat

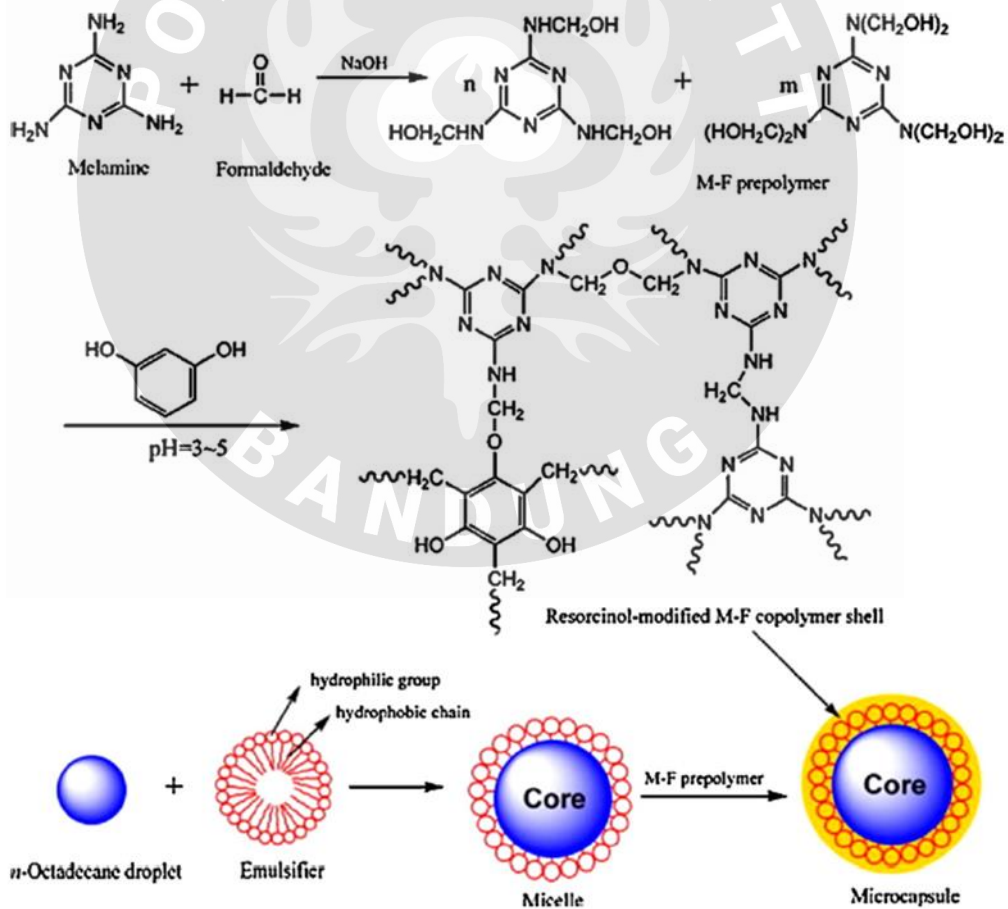


perubahan distribusi molekuler karena adanya perubahan difusi antar celah molekul yang menyebabkan kekuatan gaya-gaya fisiknya menjadi menurun. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian (Krupa and Mikova, 2007) yang menguraikan mengenai difusi molekul rantai panjang (makromolekul) pada senyawa campuran *low density polyethylene* dan parafin wax.

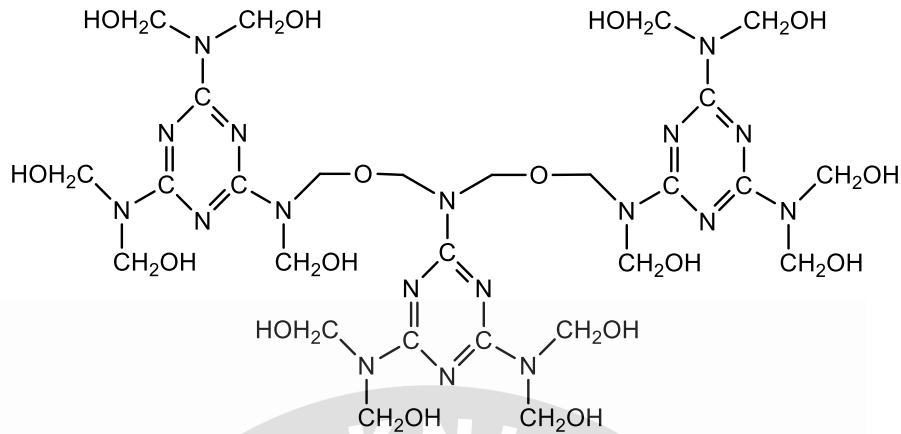
Manfaat kapsulasi PCM selain untuk melindungi inti di dalamnya, juga berguna untuk meningkatkan konduktifitas termal PCM karena adanya peningkatan luas area permukaan (Peng *et al.*, 2018). Selain itu, enkapsulasi juga dapat memudahkan penerapannya ke bahan tekstil melalui metode aplikasi penyempurnaan yang sudah biasa dilakukan oleh industri. Dalam hal ini, porositas dan kenyamanan pakai lainnya harus tetap dipertahankan. Melamine formaldehida merupakan salah satu polimer yang sudah banyak diteliti dan memberikan hasil yang baik sebagai bahan cangkang/kapsul untuk mengkapsulasi PCM. Diantara kelebihan melamin formaldehida sebagai kapsul adalah memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, bentuk morfologi dan konduktifitas termal yang baik, ekonomis dan mudah didapatkan (Palanikkumaran *et al.*, 2010). Gambar 1.2 menguraikan mekanisme pembentukan mikrokapsul dengan menggunakan n-oktadekana sebagai inti dan polimer melamin formal dehida (MF) sebagai kulitnya melalui reaksi polimerisasi *in-situ*.

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.2, terlihat bahwa reaksi antara melamin dan formaldehida dalam kondisi alkali dapat menghasilkan pre-polimer-pre-polimer melamin-formaldehida (M-F). Agar membentuk struktur polimer yang kompleks, digunakan resorsinol (pada pH asam) yang mampu memodifikasi struktur cangkang kopolimer M-F-resorsinol. Kopolimer cangkang yang sudah terbentuk kemudian direaksikan dengan senyawa alkana yang akan dijadikan inti dari PCM-nya, dalam hal ini adalah n-oktadekana, dengan bantuan suatu zat aktif permukaan untuk membentuk misel, sehingga pada akhirnya secara spontan terbentuk mikrokapsul dengan cangkang M-F dan inti n-oktadekana. Perlu dicatat bahwa mekanisme yang diuraikan di atas merupakan gambaran prinsip reaksi polimerisasi *in-situ* yang juga digunakan dalam pembuatan PCM pada penelitian ini. Namun, beberapa zat yang digunakan sedikit berbeda, yaitu: (1) bahan intinya

adalah campuran lilin parafin padat dan cair kelas mutu industri; (2) bahan modifikasi cangkangnya adalah PVA (polivinil alkohol); dan (3) zat aktif permukaannya adalah texapon N70, sementara bahan cangkang (mikrokapsulnya sama, yaitu melamin formaldehida). Mekanisme tersebut cukup relevan dengan penelitian ini, meskipun tidak sama persis, mengingat belum ditemukan sumber literatur yang persis sama dengan bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini. Hal tersebut justru menjadi salah satu kekuatan dalam bentuk kebaruan dari penelitian ini. Namun demikian, mekanisme hipotetiknya diuraikan dalam bagian diskusi (Bab 4) tesis ini. Satu hal penting lainnya yang perlu dicatat mengenai pemilihan melamin formaldehida sebagai bahan cangkang adalah kemampuannya melindungi inti di dalamnya serta sifat mekanis yang juga cukup tinggi karena mampu berpolimerisasi secara spontan membentuk struktur tiga dimensi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.3.



Gambar I.2 Proses pembentukan mikro kapsul dengan inti  $n$ -octadecane dan polimer MF sebagai kulitnya (Zhang and Wang, 2009).



Gambar I.3 Hasil polimerisasi melamin formaldehida

## I.6 Metodologi Penelitian

Pada awalnya, penelitian ini direncanakan untuk dikerjakan dengan metode eksperimental melalui percobaan-percobaan di laboratorium. Namun demikian, dengan adanya kejadian luar biasa wabah covid-19, tidak semua tahapan pengujian dapat dilakukan dengan sisa waktu penyelesaian tesis yang diberikan, sehingga tesis ini disusun dengan metode kombinasi, yaitu gabungan antara sebagian besar hasil eksperimen di laboratorium dengan kajian literatur untuk beberapa data pengujian yang tidak sempat dilaksanakan. Pengujian-pengujian yang belum sempat dilaksanakan adalah yang dilaksanakan di laboratorium institusi lain yang tidak dapat memberikan kepastian jadwal karena sistem bekerja yang masih dalam tahap adaptasi kebiasaan baru saat ini. Namun demikian, seluruh tahapan utama yang direncanakan dari penelitian ini telah dapat dilaksanakan secara eksperimental, sebagaimana diuraikan dalam Tabel I.1 di bawah ini. Penyelesaian berbentuk kajian literatur hanya dilakukan untuk bagian-bagian yang dapat dianggap minor dan dapat direkomendasikan sebagai penelitian lanjutan.

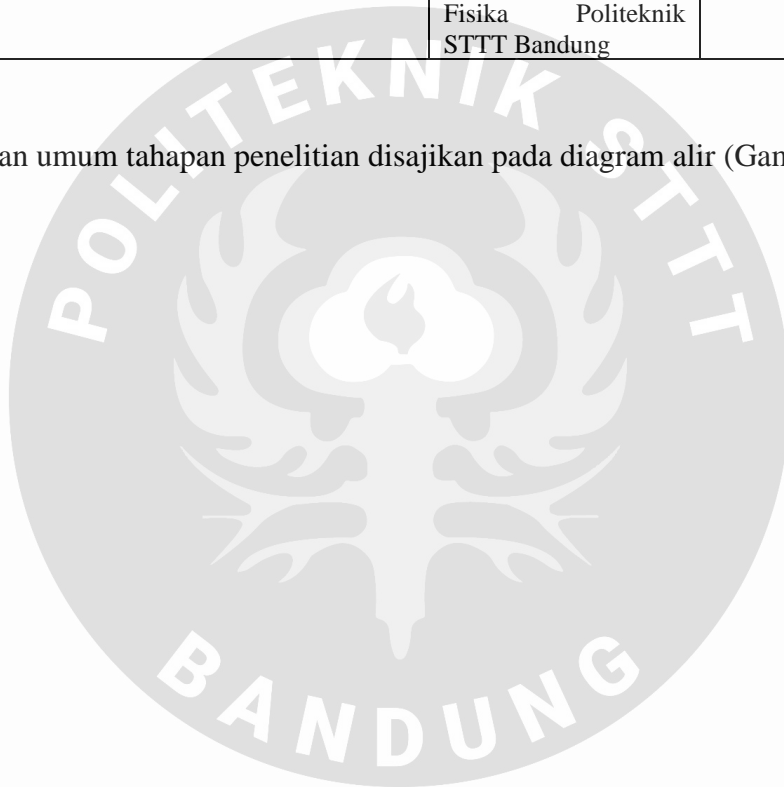
Tabel I.1 Tahapan Rencana Penelitian

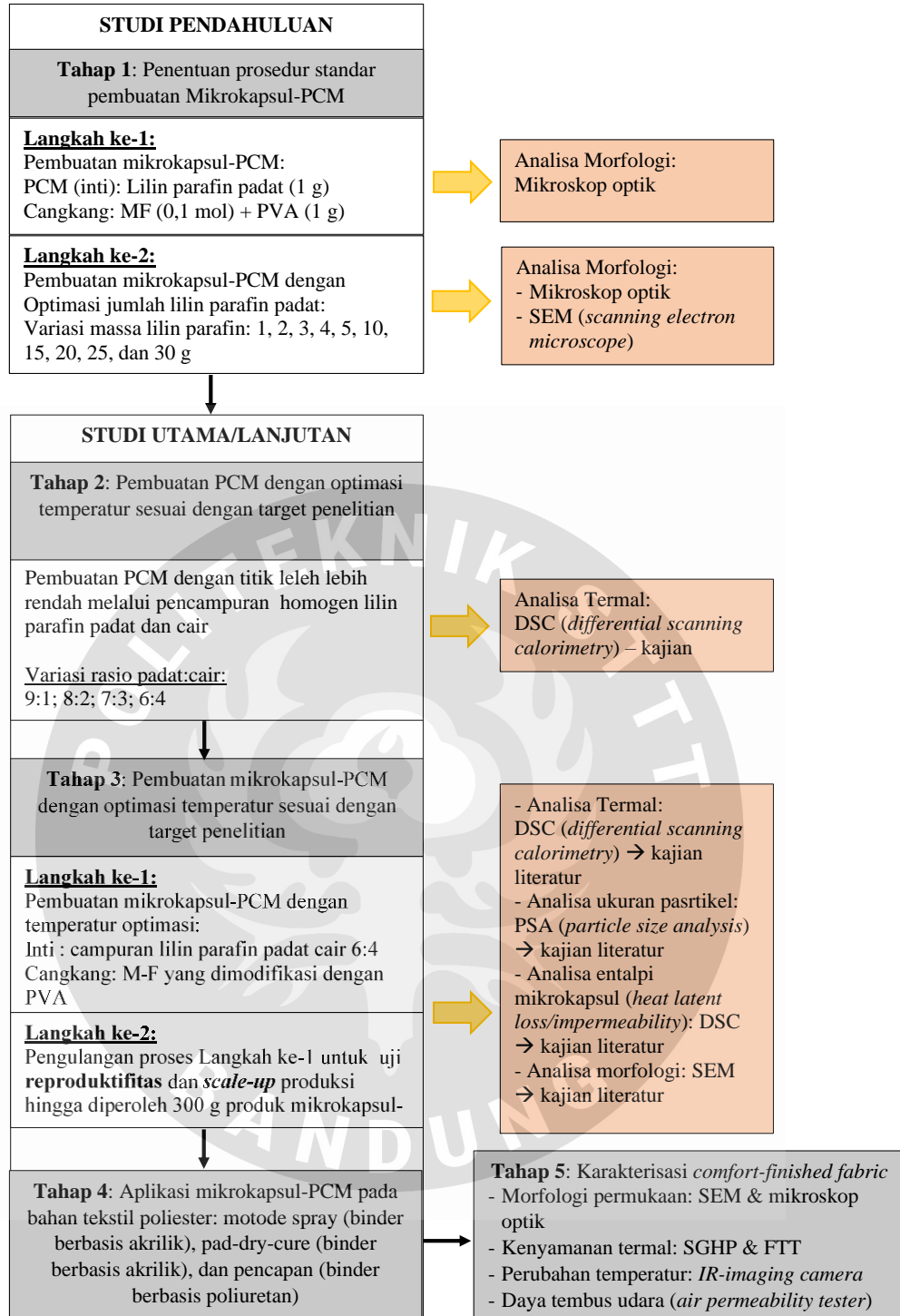
Tahap ke-	Uraian tahapan penelitian	Metode Pelaksanaan	Level Penyelesaian
1.	Sintesa mikrokapsul PCM dengan polimerisasi <i>in-situ</i> , menggunakan melamin formaldehida dan lilin parafin padat	<p>Eksperimental (<i>trial and error</i> di laboratorium)</p> <p>Sintesa dilaksanakan di Lab. Lingkungan Balai Besar Tekstil</p> <p>Analisa SEM dilaksanakan di Lab. Pengujian Balai Besar Tekstil</p> <p>Analisa morfologi dengan mikroskop optik dilaksanakan di Lab Kenyamanan Tekstil Politeknik STTT Bandung</p>	<p>Selesai seluruhnya, dan didapat mikrokapsul PCM yang sudah dikarakterisasi menggunakan mikroskop optik dan SEM</p> <p><b>Keterangan:</b> Eksperimen berhasil, namun titik leleh masih terlalu tinggi dibandingkan dengan suhu kenyamanan tubuh manusia, meskipun beberapa literatur menyebutkan bahwa 18-65 °C masih cocok untuk aplikasi tekstil</p>
2.	Melakukan pencampuran parafin padat dan cair untuk memperoleh material inti (PCM) dengan titik leleh yang lebih rendah (targetnya sekitar 37 °C), dengan memvariasikan berbagai komposisi kedua bahan lilin parafin fasa padat dan cair.	<p>Eksperimental dan sebagian kecil kajian literatur</p> <p>Variasi Padat:cair yang dilakukan: 9:1; 8:2; 7:3; dan 6:4</p> <p>Rencana berikutnya adalah campuran dengan rasio 1:1; 4:6; dan 3:7, namun <b>tidak dapat</b> diselesaikan pada penelitian ini karena penutupan laboratorium, sehingga beberapa data diasumsikan dari hasil <b>kajian literatur</b>.</p> <p>Sintesa dilaksanakan di Lab. Lingkungan Balai Besar Tekstil</p> <p>Analisa DSC dilaksanakan di Lab. Pengujian LIPI</p>	<p>Telah diperoleh material inti PCM berupa campuran lilin parafin cair dan padat yang homogen dan dikarakterisasi menggunakan DSC</p> <p><b>Keterangan:</b> Sudah berhasil diperoleh material yang memiliki titik leleh 45 °C</p>
3.	Sintesa mikrokapsul PCM dengan menggunakan MF sebagai cangkang, PVA sebagai modifikator, teopol sebagai zat aktif permukaan, dan campuran lilin parafin padat-cair	Eksperimental di laboratorium dengan prosedur yang sesuai dengan tahap 1 penelitian ini dan	Telah diperoleh mikrokapsul dengan reproduktifitas yang baik, melalui sintesa berulang.

Tahap ke-	Uraian tahapan penelitian	Metode Pelaksanaan	Level Penyelesaian
	<p>sebagai inti (komposisi 6:4 berdasarkan hasil terbaik sejauh ini)</p> <p>Hasil sintesa dikarakterisasi dengan DSC (<i>differential scanning calorimeter</i>, PSA (<i>particle size analysis</i>))</p>	<p><b>kombinasi</b> dengan kajian literatur</p> <p>Sintesa dilaksanakan di Lab Lingkungan Balai Besar Tekstil</p> <p>Analisa DSC untuk mengetahui entalpi mikrokapsul-PCM, impermeability, dan efisiensi kapsulasi direncanakan dilaksanakan di Lab. Pengujian LIPI, namun tidak dapat dikerjakan, sehingga data yang disajikan merupakan asumsi dari <b>hasil kajian literatur</b>.</p> <p>Analisa ukuran partikel direncanakan dilaksanakan di Lab. Kimia Unpad, namun tidak dapat direalisasikan, sehingga data yang disajikan merupakan <b>hasil kajian literatur</b> juga.</p>	<p>Telah dilakukan <i>scale-up</i> reaksi dan didapatkan produk mikrokapsul PCM sebanyak 300 gram melalui 3 kali proses sintesa</p>
4.	<p>Aplikasi mikrokapsul-PCM (hasil tahap 3) pada kain poliester dengan metode <i>spray</i>, <i>peras-pengeringan-pemanasawetan</i>, dan pencapan.</p> <p>Binder berbasis akrilik digunakan pada metode <i>spray</i> dan <i>peras-pengeringan-pemanasawetan</i>.</p> <p>Binder berbasis poliuretan digunakan pada metode pencapan</p>	<p>Eksperimental</p> <p>Dilaksanakan di Lab Pencapan dan Penyempurnaan Politeknik STTT Bandung</p>	<p>Telah diperoleh kain poliester yang disempurnakan dengan mikrokapsul PCM dengan tiga metode yang ditentukan</p>
5	<p>Karakterisasi bahan yang telah diberi mikrokapsul PCM:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Analisa morfologi permukaan (SEM dan mikroskop optik)</li> <li>2. Analisa kenyamanan termal dengan SGHP (<i>sweating guarded hot plate</i>)</li> <li>3. Analisa kenyamanan termal dalam bentuk konduktifitas termal menggunakan FTT (<i>fabric touch tester</i>)</li> </ol>	<p>Eksperimental dan sebagian kajian literatur</p> <p>SEM: sebagian eksperimen dilaksanakan di Lab Pengujian Balai Besar Tekstil, sebagian diasumsikan dari hasil kajian literatur</p>	<p>Seluruh pengujian dan kajian literatur telah selesai dilaksanakan</p>

Tahap ke-	Uraian tahapan penelitian	Metode Pelaksanaan	Level Penyelesaian
	4. Analisa perubahan suhu kain dengan menggunakan kamera termal infra merah 5. Analisa daya tembus udara menggunakan <i>air permeability tester</i>	Mikroskop optik, SGHP, dan FTT dilaksanakan di Lab. Kenyamanan Tekstil Politeknik STTT Bandung  Kamera termal infra merah dilaksanakan di Lab Lingkungan Balai Besar Tekstil  Analisa daya tembus udara dilaksanakan di Lab Pengujian Tekstil Fisika Politeknik STTT Bandung	

Gambaran umum tahapan penelitian disajikan pada diagram alir (Gambar I.4).





Gambar I.4 Diagram alir percobaan