

Investigasi Peleburan dan Pembekuan *Phasa Change Material* (PCM) Paraffin Wax Sebagai *Thermal Energy Storage* Pada Pipa

R Handoko¹, A Suwandi², C A Siregar^{3*}, A M Siregar⁴

^{1,2,3,4}. Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

*Email: chandra@umsu.ac.id

ABSTRACT

Phase change materials (PCM) are materials that can change phase from solid to liquid and vice versa from water to solid. PCM is the most efficient material for storing heat energy in the form of latent heat. This study aims to investigate melting and freezing of PCM types of paraffin wax in pipes. The investigation was carried out in 3 experiments with heat source temperatures of 90 °C, 85 °C and 80 °C. To facilitate investigation, paraffin wax is placed in a transparent tube. During the smelting process, observations were made for 600 minutes, and data recording and shooting were carried out every 60 minutes. The result is that the melting of paraffin wax starts from the top of the heat source side. The higher temperature paraffin wax moves upwards and the lower one moves downwards. On freezing, also found the same thing. The flow pattern is affected by the temperature of the paraffin wax itself. In addition, it can also be concluded that the higher the temperature of paraffin wax, the higher its ability to store heat energy.

Keywords: PCM, Paraffin Wax, Melting, Solidification

PENDAHULUAN

Phasa Change Material (PCM) merupakan material yang dapat berubah fasa, ketika menyerap panas PCM akan akan berubah fasa dari padat ke cair. Sedangkan ketika melepaskan panas maka PCM akan berubah dari fasa cair ke fasa padat. Hal inilah yang menyebabkan PCM dapat dijadikan sebagai salah satu material yang dapat menyimpan energi panas (*thermal energy storage/TES*)[1]–[3]. PCM dapat mengalami proses *reversibel* dari proses peleburan (*melting*) maupun pembekuan (*solidification*) yang dapat dimanfaatkan untuk mempertahankan suhu konstan selama periode waktu tertentu, sehingga dapat dimanfaatkan pada aplikasi penyimpanan panas laten. Selama proses perpindahan panas dan proses peleburan material sangat berdampak pada kinerja penyerapan dan transfer panas [4]. Berdasarkan kondisi perubahan fasanya, PCM terbagi menjadi 3 bagian yaitu *solid-liquid*, *liquid-gas*, dan *solid-gas*. Diantara jenis-jenis tersebut PCM *solid liquid* merupakan PCM yang paling banyak digunakan sebagai *thermal energy storage*. Secara umum PCM *solid-liquid* diklasifikasikan menjadi 3 bagian yaitu PCM senyawa *organic*, *senyawa inorganik*, dan *eutectic* [5]. Secara umum, karakteristik PCM ditampilkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Karakteristik Klasifikasi PCM [6]

Klasifikasi	Kelebihan	Kekurangan
Organik	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tersedia secara luas dalam berbagai temperatur operasi 2. Rendah atau tidak mengalami <i>supercooling</i> 3. Mempunyai panas lebur yang tinggi 4. Dapat didaur ulang 5. Tidak korosif 6. Dapat dioperasikan dengan berbagai material 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Memiliki konduktivitas <i>thermal</i> yang rendah 2. Memiliki perubahan volume yang besar 3. Mudah terbakar
In organic	<ol style="list-style-type: none"> 1. Memiliki panas lebur yang 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengalami <i>supercooling</i>

Klasifikasi	Kelebihan	Kekurangan
	tinggi	2. Mengalami korosi
	2. Memiliki konduktivitas <i>thermal</i> yang tinggi	
	3. Memiliki perubahan volume yang rendah	
	4. Tersedia dengan biaya yang murah	
Eutetic	1. Memiliki temperatur leleh yang tinggi	Kurangnya literatur mengenai data-data <i>thermal properties</i>
	2. Memiliki densitas <i>thermal</i> yang tinggi	

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan investigasi terhadap proses peleburan (solidification) dan proses peleburan (melting) pada PCM dalam pipa. PCM yang digunakan sebagai thermal storage adalah jenis organik yakni paraffin wax.

Tabel 2. Sifat-sifat termophysical material berubah fasa yang digunakan dalam penelitian

Sifat-sifat	Paraffin wax[1]
Melting temperature ($^{\circ}C$)	59,8
Latent heat of fusion kJ/kg)	190
Density (kg/m ³)	
Solid	910
Liquid	790
Specific heat (kJ/(kg. $^{\circ}C$))	
Solid	2,0
Liquid	2,15
Thermal conductivity (W/m.K)	
Solid	0,24
Liquid	0,22

Thermal Energy Storage (TES) merupakan penyimpanan suatu energi dalam sebuah material sebagai energi panas sensibel (*sensibel heat storage*), panas laten (*laten heat storage*), dan termokimia (*thermochemical*) atau kombinasi diantara ketiganya. Didalam *sensible heat storage* (SHS) energi panas disimpan dalam bentuk peningkatan temperatur pada material padat maupun cair. Sehingga jumlah panas sensibel yang dapat disimpan bergantung pada besarnya nilai panas spesifik, perubahan temperatur selama proses penyerapan dan pelepasan panas pada material, serta banyaknya material tersimpan didalam *storage*. Sistem penyimpanan panas laten telah menerima banyak perhatian dalam beberapa tahun karena kepadatan penyimpanan energi yang tinggi dan kemampuannya untuk menyediakan panas laten memerlukan berat jauh lebih kecil dan volume bahan untuk menyimpan sejumlah energi dibandingkan dengan system *sensible heat storage*[7]. Kapasitas penyimpanan panas dapat dihitung dengan persamaan[8]

$$Q = m[C_{ps}(T_m - T_i) + m \cdot a_m h_m + C_{pl}(T_f - T_m)] \quad (1)$$

Untuk efektifitas peleburan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

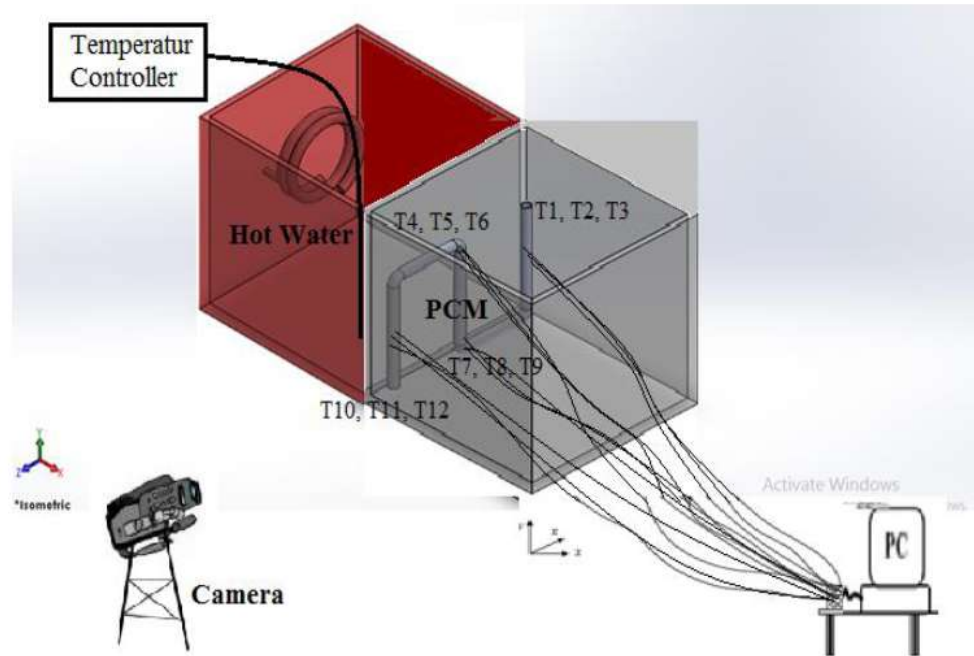
$$\varepsilon_1 = \frac{\sum m C_{ps}(T_{in} - T_{out})}{\sum m C_{pl}(T_{in} - T_{pcm})} \quad (2)$$

Efektifitas pembekuan

$$\varepsilon_2 = \frac{\sum m C_{ps}(T_{out} - T_{in})}{\sum m C_{pl}(T_{pcm} - T_{in})} \quad (3)$$

METODE PENELITIAN

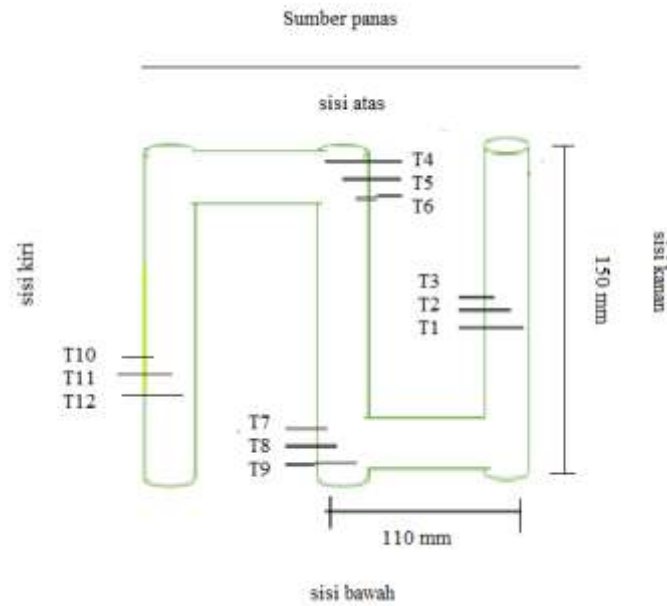
Penelitian ini dilakukan secara ekperimental dan secara simulasi dengan menggunakan software Ansys 19,0. Data-data yang diperoleh secara eksperimental akan dijadikan sebagai data pada program Ansys dalam melakukan simulasi. Gambar dibawah ini menunjukkan set-up alat uji penelitian yang digunakan.



Gambar 1. Set-up alat uji.

Set-up alat uji menggunakan wadah berbentuk persegi panjang dengan ukuran 520mm x 260mm x 250mm berbahan kaca dengan ketebalan 8mm. Pemilihan bahan kaca bertujuan untuk mempermudah pengamatan (investigasi). Wadah tersebut dibagi dalam dua bagian yang dipisahkan oleh plat alumanium agar mempercepat proses perpindahan panas dari wadah satu (warna merah) sebagai sumber panas ke wadah kedua tempat pipa yang berisi PCM. Pada wadah satu diisi air dan dilengkapi dengan heater (pemanas) serta control temperatur. Pengujian dilakukan dengan tiga temperature sumber panas yang berbeda yakni 90 °C, 85 °C dan 80 °C. Pada pengujian 90 °C, maka heater akan bekerja (hidup) hingga temperature air pada wadah satu mencapai temperature 92 °C, dan secara otomatis heater akan mati (tidak aktif). Setelah temperature air mencapai 88 °C maka heater akan hidup kembali. Begitu juga untuk temperature pengujian lainnya.

Sedangkan pada wadah kedua, merupakan tempat untuk meletakkan pipa transparan dengan total panjang 650mm berdiameter 12,7mm yang diisi dengan PCM, yakni paraffin wax. Pipa transparan berisi PCM seberat 0,7 kg. Dalam pengujian, digunakan 13 alat ukur temperature. 12 titik dipasang pada pipa transparan (T_1 - T_{12}), sedangkan satu alat ukur dipasang pada wadah satu untuk membaca temperature sumber panas T_{13} . Alat ukur temperature terkoneksi dengan computer untuk memudahkan pengambilan dan pencatatan data temperature.



Gambar 2. Penempatan alat ukur temperature pada pipa transparan

Dalam penempatan alat ukur, dikelompokkan menjadi 4 bagian, yakni pada sisi kanan dan kiri pipa (T_1, T_2, T_3 dan T_{10}, T_{11}, T_{12}), pada sisi bagian atas pipa terdapat T_4, T_5 dan T_6 . Sedangkan pada sisi bagian bawah pipa terdapat T_7, T_8 dan T_9 . Pada proses peleburan, pencatatan temperature, pengambilan gambar dalam bentuk foto dilakukan pada interval waktu setiap 60 menit hingga PCM benar – benar melebur (*melting*). Hal ini yang juga dilakukan pada proses pematatan (*solidification*). Selama proses peleburan dan pembekuan, dilakukan pengamatan/investigasi secara visualiasasi dengan menggunakan kamera. Untuk simulasi, juga dilakukan pengambilan gambar per 60 menit (proses peleburan). Sedangkan proses pembekuan, tidak dilakukan secara simulasi.

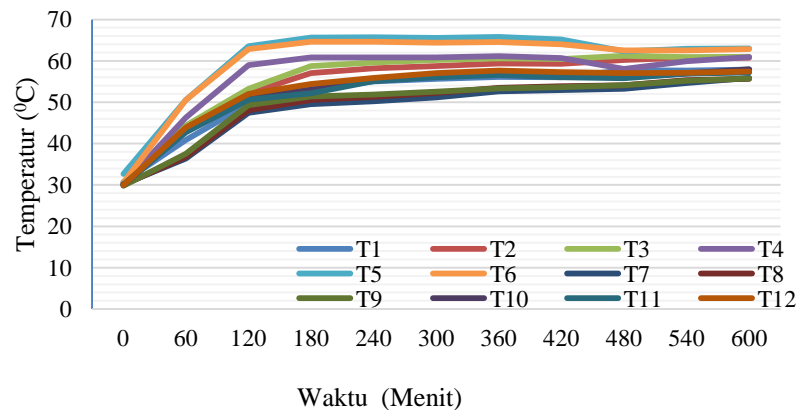
HASIL DAN PEMBAHASAN

Peleburan PCM Paraffin Wax

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada temperature $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ pada material paraffin wax ditampilkan pada tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Proses Peleburan paraffin wax pada temperature peleburan $90\text{ }^{\circ}\text{C}$

Waktu (menit)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)											
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
0	30,69	30,44	30,44	30,12	32,69	30,56	30,19	30	29,81	29,94	30,12	29,94
60	40,88	42,88	44,31	46,25	50,5	50,5	36,38	36,75	37,56	43,13	42,69	43,88
120	49,63	52,13	53,25	59	63,56	62,81	47,44	48,06	49,31	51,13	50,63	52
180	53,31	57	58,75	60,81	65,62	64,62	49,56	50,56	51,38	53	52,19	54,38
240	55,06	58,19	59,63	60,81	65,69	64,62	50,25	51,31	51,88	55,19	55,13	55,88
300	55,63	58,75	60,19	60,81	65,56	64,37	51,19	52,25	52,56	56,25	56,06	57,06
360	56,13	59,38	60,63	61,13	65,75	64,56	52,63	53,5	53,31	56,81	56,56	57,63
420	56	59,25	60,44	60,69	65,19	64	52,94	53,88	53,63	56,38	56,06	57,25
480	57,75	60,19	61,19	58,06	62,31	62,56	53,25	54,06	54,09	56,13	55,81	57,06
540	57,65	60,76	60,89	59,87	62,89	62,55	54,67	55,34	55,21	56,98	56,87	57,13
600	57,88	60,78	60,76	60,87	62,97	62,87	55,87	55,65	55,76	57,98	57,23	57,42



Gambar 3. Pergerakan temperature peleburan paraffin wax pada pengujian 90 °C

Pada tabel 3 dan gambar 2 diatas dapat dilihat bahwa proses peleburan *paraffin wax* durasi 60 menit terjadi kenaikan temperatur pada PCM secara signifikan. Kenaikan signifikan tersebut terjadi pada dinding sumber panas yang terdekat dengan sumber panas yakni sisi bagian atas yang kemudian (T_4 , T_5 , dan T_6). Hal ini menandakan bahwa pergerakan *paraffin wax* dipengaruhi oleh berat jenis *paraffin* itu sendiri. Dimana temperature yang lebih tinggi akan bergerak keatas, dan yang rendah bergerak kebawah. Jika dilihat temperature terendah pada pengujian selama 60 ini, terdapat pada sisi bagian bawah yakni T_7 , T_8 dan T_9 .

Berdasarkan sifat – sifat termophysical *paraffin wax*[1], peleburan *paraffin wax* terjadi pada temperature 58,9 °C. Jika dilihat dari hasil pengukuran temperature, peleburan terjadi setelah pada durasi pengujian 240 menit. Peleburan secara sempurna (mencapai titik lebur), terjadi pada posisi kanan T_2 , T_3 serta sisi atas T_4 , T_5 , T_6 . Meskipun berada pada satu posisi sejajar antara T_1 , T_2 , T_3 , namun T_1 belum mencapai temperature yang sempurna hanya 55,06 °C. Hal ini disebabkan oleh T_1 berada pada bagian jauh dari sumber panas. Untuk sisi kiri, meskipun sejajar dengan sisi kanan namun penempatan sisi kiri lebih dibawah daripada sisi kanan. Sehingga pada sisi kiri belum ada yang melebur sempurna. Begitu juga dengan sisi bawah, belum ada yang melebur.

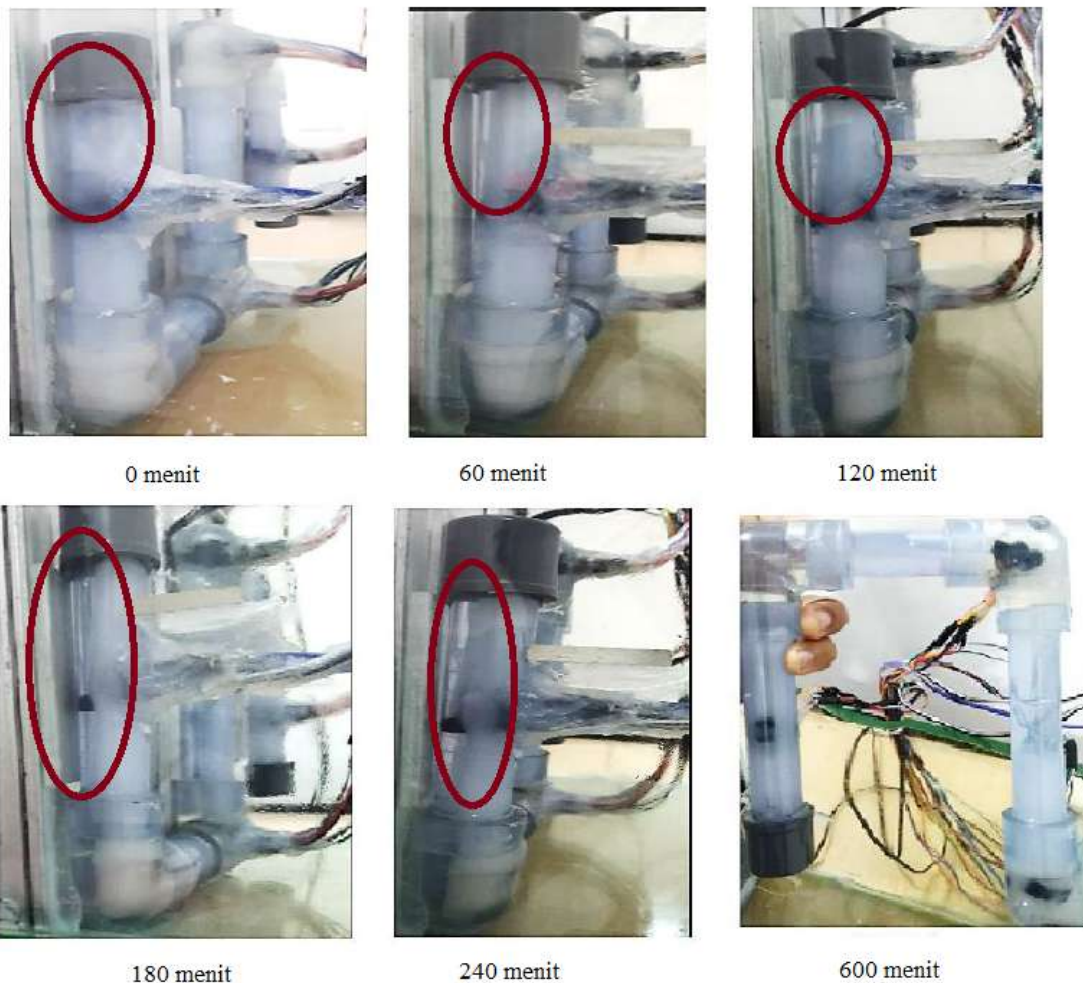
Hingga akhir pengujian selama 600 menit, dapat dilihat bahwa temperature tertinggi berada pada sisi atas T_4 , T_5 , T_6 yang mencapai temperature secara beturut-turut 60,87 °C, 62,97 °C, dan 62,87 °C. Sedangkan temperature terendah berada pada sisi bawah T_7 , T_8 dan T_9 sebesar 55,87 °C, 55, 65 °C dan 55, 76 °C. Meskipun belum mencapai temperature peleburan, namun secara visualisasi (pengamatan gambar), *paraffin wax* pada sisi bawah juga sudah terlibat melebur.

Perbedaan temperature antara sisi atas dan bawah ini, kembali menegaskan bahwa pergerakan peleburan *paraffin wax* juga dipengaruhi oleh berat jenis. Dimana berat jenis dipengaruhi oleh temperature, semakin tinggi temperature, maka semakin rendah pula berat jenisnya. Pergerakan berat jenis yang rendah, akan mengalir ke atas dan yang berat jenis yang lebih tinggi akan bergerak ke bawah.



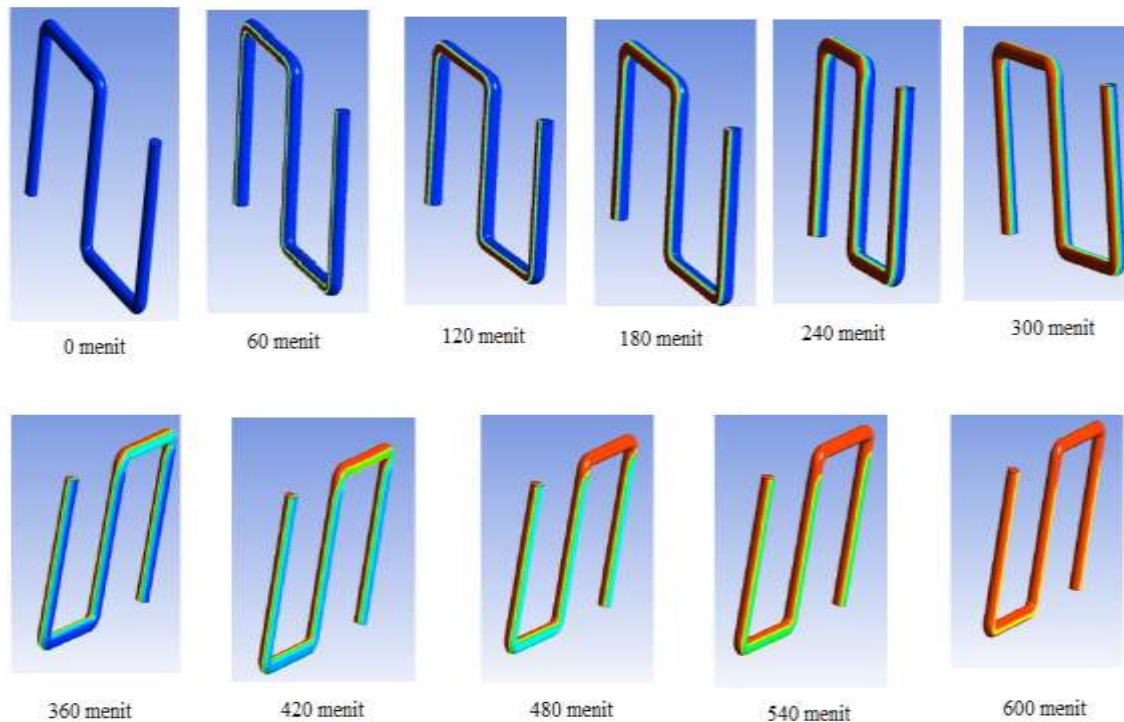
Gambar 4. Hasil pengamatan menggunakan foto

Berdasarkan pengamatan secara langsung, dibuktikan dengan dokumentasi dalam bentuk foto, dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan warna pada paraffin wax. Jika dilihat dalam kondisi padat (pengujian 0 menit) terlihat paraffin wax berwarna putih pekat dan tidak transparan. Sedangkan pada pengujian 600 menit (melebur) warna paraffin terlihat lebih bening dan transparan. Pada pergerakan peleburan paraffin wax yang ditampilkan pada gambar 3, terlihat jelas pada pengujian 0 menit hingga pengujian 240 menit. Pada 0 menit, seluruh pipa tidak ada yang tranparan, dan dalam tangkapan foto pada menit ke 60, sudah terlihat paraffin yang melebur pada bagian atas. Semakin lama pengujian dilakukan, maka bagian yang melebur semakin meluas. Hingga pada akhirnya di pengujian 600 menit, seluruh bagian melebur. Pola aliran peleburan dimulai dari sisi atas dan merambat hingga bagian bawah. Hal ini dapat dilihat pada gambar 5 dibawah ini.



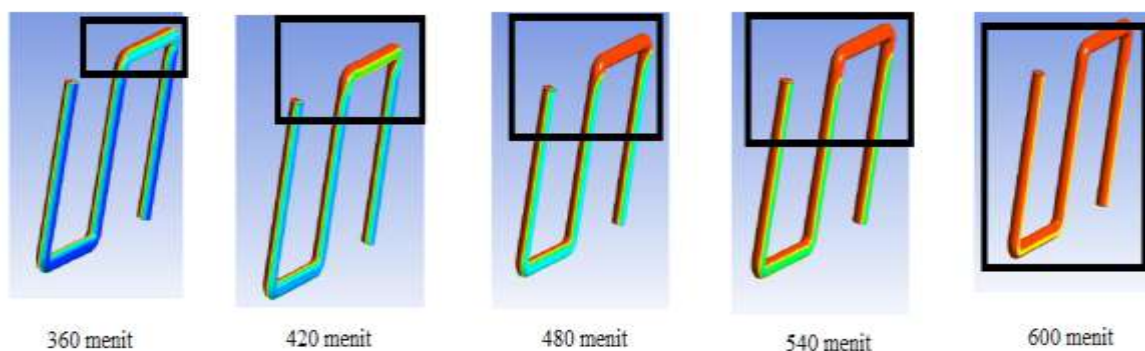
Gambar 5. Pola rambatan peleburan paraffin wax

Pola rambatan peleburan ini juga terkonfirmasi dengan simulasi yang dilakukan dengan menggunakan software ansys 19,0. Terdapat perbedaan kontur warna temperature pada hasil simulasi yang ditampilkan pada gambar 6 dibawah ini. Warna biru menandakan temperature rendah dengan kata lain paraffin wax masih dalam keadaan solid/padat. Warna hijau dan kuning menandakan terjadi kenaikan temperature yang menandakan paraffin wax akan segera melebur. Merah merupakan temperature tertinggi yang menandakan paraffin wax telah mencapai titik leburnya dan telah melebur sepenuhnya. Dari hasil simulasi, juga terlihat bahwa pergerakan peleburan paraffin dimulai dari sumber panas bagian atas dan merambat hingga bagian terjauh dari sumber panas bagian bawah paraffin wax. Gambar 6 Pada menit 0 – 300 tampak pipa bagian yang berhadapan dengan sumber panas, sedangkan pada menit 360 – 600, tampak bagian belakang yang terjauh dari sumber panas.



Gambar 6. Pola pergerakan peleburan paraffin wax secara simulasi

Peleburan dari bagian atas paraffin juga terlihat jelas pada menit ke 360 hingga ke menit 600. Dapat dilihat bahwa sisi bagian atas di menit 360 mulai mencair (warna hijau) dan pada menit ke 420 sudah mulai kuning, hingga pada menit ke 420 berwarna merah. Kemudian bagian lain dibawahnya juga terlihat berubah warna hingga pada ke 600 berubah menjadi warna dan pada bagian bawah masih terdapat sedikit berwarna kuning. Perhatikan tanda kotak hitam pada gambar 7 dibawah ini.

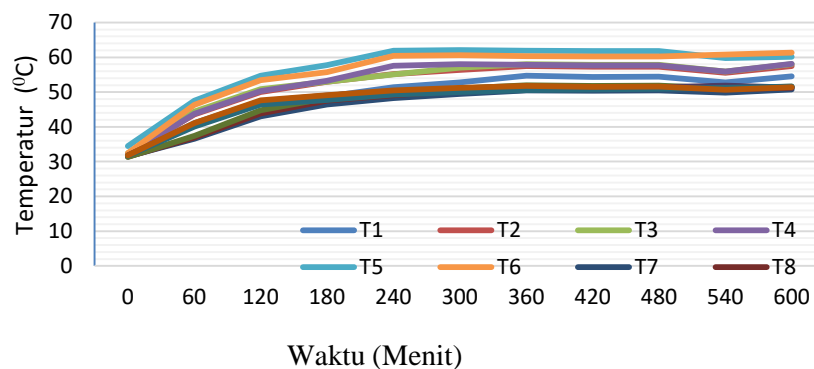


Gambar 7. Pola aliran peleburan yang dimulai dari bagian atas

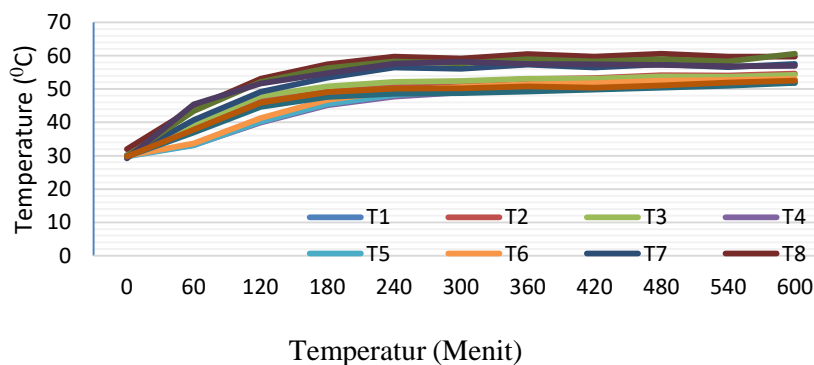
Pada pengujian peleburan paraffin wax dengan temperature sumber panas 85°C dan 80°C , ditemukan pola aliran peleburan yang sama. Namun, proses peleburan lebih lama. Hal ini menandakan semakin tinggi temperature sumber panas, maka semakin cepat proses peleburan paraffin wax. Selain itu, kenaikan temperature paraffin wax juga lebih rendah jika dibandingkan

dengan pengujian pada temperature 90 °C. Selama pengujian 600 menit, pengujian 90 °C memiliki temperature maksimal pada paraffin wax sebesar 62,87 °C pada sisi bagian atas paraffin wax (T₆). Sedangkan pada pengujian 85 °C dan 80 °C, temperature maksimal paraffin wax masing – masing sebesar 61,32 °C dan 60,56 °C. Temperatur tertinggi ini juga berada pada bagian atas paraffon wax (T₆).

Sementara itu, temperature terendah dicatat berada pada bagian bawah paraffin wax yakni sebesar 55,65 °C pada T₈ (pengujian 90 °C), 50,75 °C pada T₇ (pengujian 85 °C) dan 51,83 °C pada T₇ (pengujian 80 °C). Kondisi ini menegaskan, bahwa terjadi pergerakan paraffin wax selama proses peleburan yakni paraffin wax yang melebur akan bergerak keatas, dan yang masih padat bergerak ke bagian bawah. Sehingga, proses peleburan akan berakhir pada bagian bawah paraffin wax. Grafik pergerakan temperature pada pengujian temperature 85 °C dan 80 °C ditampilkan pada gambar dibawah 8 dan 9 dibawah ini.



Gambar 8. Pergerakan temperature peleburan paraffin wax pada pengujian 85 °C



Gambar 9. Pergerakan temperature peleburan paraffin wax pada pengujian 80 °C

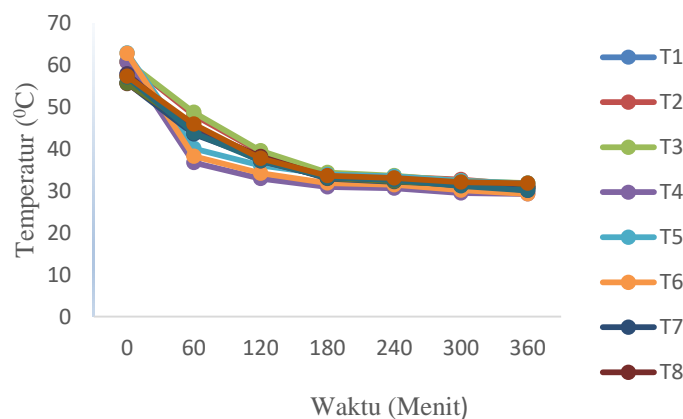
Pembekuan PCM Paraffin Wax

Setelah material *Paraffin wax* melebur seluruhnya, maka dilakukan proses pembekuan. Hal ini dilakukan secara alami yakni dengan tidak memberikan sumber pendingin lainnya terkecuali udara lingkungan. Pencatatan penurunan temperatur juga dilakukan pada 12 titik. Hasil pencatatan pergerakan temperatur dapat dilihat pada tabel 4 dan gambar 10.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Proses Pembekuan paraffin wax dari temperature peleburan 90 °C

Waktu (menit)	Temperatur (°C)											
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂

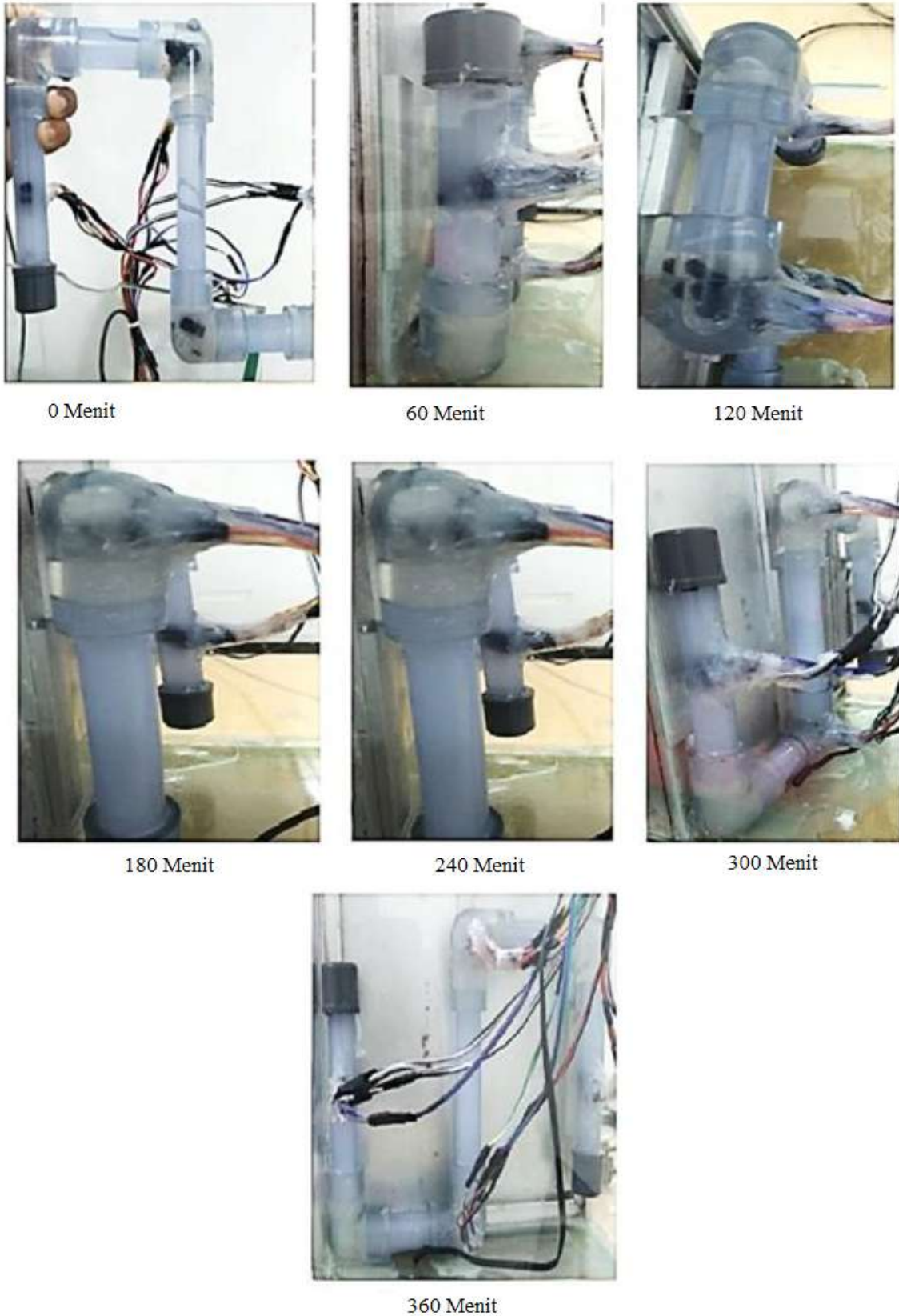
Waktu (menit)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)											
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂
0	57,88	60,78	60,96	60,87	62,97	62,87	55,87	55,65	55,76	57,98	57,23	57,42
60	44,88	48,19	48,81	36,81	40,19	38,31	43,63	45,13	45,06	44,69	43,88	46
120	37,75	39,31	39,63	33	36,13	34,25	37,69	38,25	37,81	37,19	37,25	37,81
180	33,19	34,13	34,44	31	33,94	31,94	33	33,25	33,13	33,25	33,25	33,69
240	32,56	33,44	33,69	30,69	33,5	31,5	32,25	32,5	32,38	32,75	32,69	33,13
300	31,34	32,76	32,45	29,4	32,45	30,21	31,76	31,4	31,45	31,86	31,24	32,15
360	30,98	31,46	31,88	29,34	31,87	29,34	30,87	30,76	30,98	30,17	30,18	31,87



Gambar 10. Pergerakan temperature pembekuan paraffin wax dari pengujian peleburan 90°C

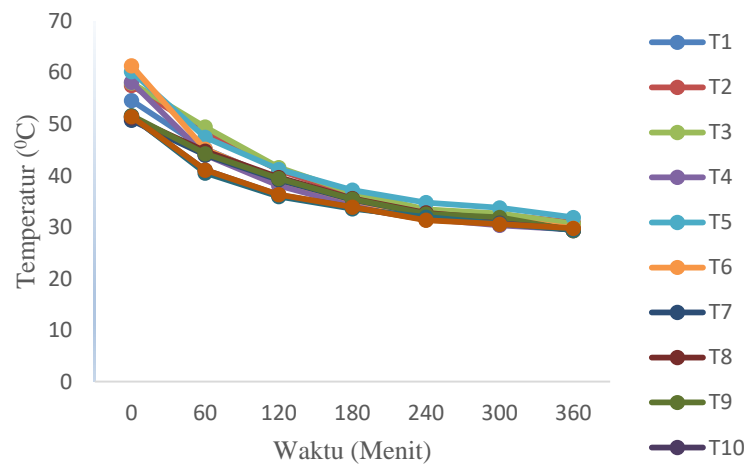
Dari tabel 4 dan gambar 10 diatas, dapat dilihat bahwa proses penurunan temperature secara signifikan terjadi dalam waktu 0 menit hingga ke 60 menit. Selama 60 menit pertama, penurunan temperature tertinggi pada sisi bagian atas yakni pada posisi T₄ sebesar $24,06^{\circ}\text{C}$, T₅ sebesar $22,78^{\circ}\text{C}$, dan T₆ sebesar $24,56^{\circ}\text{C}$. Sedangkan bagian yang memiliki penurunan temperature terkecil terdapat pada bagian bawah pipa yakni T₇ sebesar $12,24^{\circ}\text{C}$, T₈ sebesar $10,52^{\circ}\text{C}$ dan T₉ sebesar $10,7^{\circ}\text{C}$. Sementara pada posisi kanan dan kiri, penurunan temperaturnya tidak jauh berbeda antara kedua sisi tersebut.

Pengamatan secara langsung juga dilakukan pada pembekuan paraffin wax, pengambilan gambar dilakukan pada interval waktu 60 menit. Pembekuan dimulai dari sisi bagian bawah kemudian ke atas kemudian menutupi seluruh bagian dinding pipa yang perlahan mengecil ke bagian tengah pipa. Hal ini juga menandakan PCM dengan temperatur lebih tinggi menuju ke bagian atas. Atau dapat dikatakan ada sirkulasi temperatur yakni temperatur rendah bergerak ke bawah dan temperatur panas bergerak ke atas. Pada bagian ini, akan ditampilkan gambar proses pembekuan dari temperature pengujian 90°C . Sedangkan pada pengujian 85°C dan 80°C tidak ditampilkan. Karena memiliki pola yang pembekean yang sama.

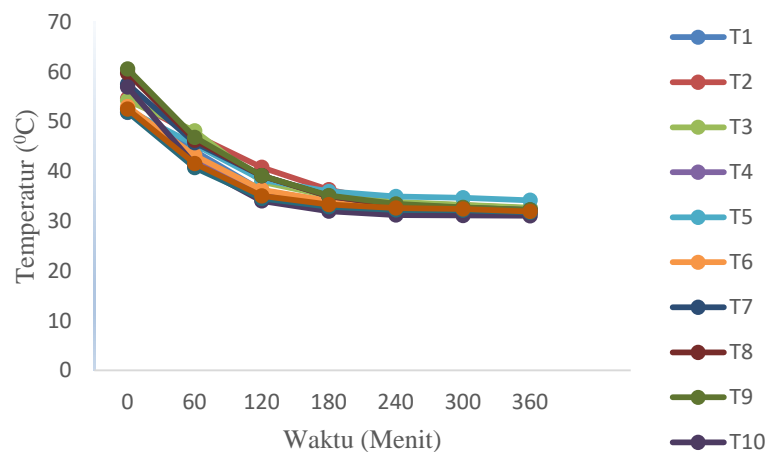


Gambar 11. Rambatan pepadatan paraffin wax dari peleburan pengujian 90 °C.

Untuk hasil pengukuran pada proses pembekuan dari temperature peleburan 85 °C dan 80 °C ditampilkan pada gambar 12 dan 13.



Gambar 12. Pergerakan temperature pembekuan paraffin wax dari pengujian peleburan 85 °C



Gambar 13. Pergerakan temperature pembekuan paraffin wax dari pengujian peleburan 80 °C

Dengan menggunakan persamaan 1, kapasitas penyimpanan panas secara *latent heat storage* sebesar 64,67 kJ pada pengujian temperature peleburan 90 °C. Sedangkan pada pengujian peleburan 85 °C dan 80 °C memiliki nilai kapasitas penyimpanan panas sebesar 64,35 kJ dan 64,17 kJ. Hal ini menandakan bahwa semakin tinggi temperature paraffin yang melebur maka semakin tinggi pula kemampuannya untuk menyimpan energi panas. Sedangkan efektifitas pembekuan dan peleburan ditampilkan pada tabel 5.

Tabel 5. Efektifitas peleburan dan pembekuan paraffin wax

Temperatur Pengujian (°C)	Efektifitas Peleburan (ϵ_1)	Efektifitas Pembekuan (ϵ_2)	ϵ_1/ϵ_2
90	1,628	1,628	1
85	1,511	1,511	1
80	1,447	1,447	1

Perbandingan antara efektifitas peleburan dan pembekuan baik pada *Paraffin Wax* adalah 1 dapat dikatakan bahwa jenis PCM tersebut sangat ideal untuk menyimpan panas. Hal ini sesuai

dengan apa yang telah diungkapkan oleh peneliti sebelumnya. Untuk menyimpan panas yang ideal, nilai ε_1 dan ε_2 adalah sebanding atau 1 [3].

KESIMPULAN

Pada penelitian yang dilakukan ditemukan bahwa *Phasa Change Material* (PCM) jenis Paraffin wax memiliki pola aliran peleburan yang dimulai dari sisi sumber panas, Paraffin wax yang memiliki temperature yang lebih tinggi akan bergerak terus naik keatas dan yang lebih rendah akan mengalir kebawah. Hal ini menandakan bahwa, phasa (bentuk) cair dan padat pada paraffin wax memiliki berat jenis yang berbeda. Semakin tinggi temperature paraffin maka semakin ringan berat jenisnya. Perbedaan berat jenis ini, yang menyebabkan adanya pergerakan aliran pada saat peleburan dan pembekuan paraffin wax. Selain itu, kemampuan penyimpanan panas latent, juga dipengaruhi oleh temperature paraffin wax. Semakin tinggi temperature paraffin maka semakin baik pula kemampuannya dalam menyimpan panas latent.

. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. A. Khot, N. K. Sane, and B. S. Gawali, "Experimental investigation of phase change phenomena of paraffin wax inside a capsule," *Int. J. Eng. Trends Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 67–71, 2011.
- [2] H. Ambarita, I. Abdullah, C. A. Siregar, R. E. T. Siregar, and A. D. Ronowikarto, "Experimental study on melting and solidification of phase change material thermal storage," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, vol. 180, no. 1, p. 12030.
- [3] C. A. Siregar, I. Abdullah, and H. Ambarita, "Kajian Peleburan dan Pembekuan Material Berubah Phasa Pada Thermal Storage," in *Talenta Conference Series: Energy and Engineering (EE)*, 2018, vol. 1, no. 1, pp. 129–136.
- [4] S. D. Sharma and K. Sagara, "Latent heat storage materials and systems: a review," *Int. J. green energy*, vol. 2, no. 1, pp. 1–56, 2005.
- [5] D. Zhou, C.-Y. Zhao, and Y. Tian, "Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications," *Appl. Energy*, vol. 92, pp. 593–605, 2012.
- [6] S. E. Kalnæs and B. P. Jelle, "Phase change materials and products for building applications: A state-of-the-art review and future research opportunities," *Energy Build.*, vol. 94, pp. 150–176, 2015.
- [7] H. Mirzaei, A. Dadvand, M. Mastiani, S. S. Sebti, and S. Kashani, "Melting of a phase change material in a horizontal annulus with discrete heat sources," *Therm. Sci.*, vol. 19, no. 5, pp. 1733–1745, 2015.
- [8] M. Boles and Y. Cengel, "An Engineering Approach," *New York McGraw-Hill Educ.*, 2014.
- [9] *Thermodynamic Properties of DuPont™ Freon® 22 (R-22)*. USA: National Institute of Standards and Technology, 1998.