

## Unjuk Kerja Pembuat *Ice Slurry* 350W dengan Air Laut

Agus S. Pamitran<sup>1,a,\*</sup>, Muhammad Fauzan<sup>1,b</sup>, Ruhama Sidqy<sup>1,c</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Kampus UI Depok 16424, Indonesia

<sup>a</sup>pamitran@eng.ui.ac.id, <sup>b</sup>muhfauzan0293@gmail.com, <sup>c</sup>sidqy.ruhama@gmail.com

### Abstrak

Ice slurry generator adalah alat pembuat bubur es. Pada studi ini, air laut digunakan sebagai bahan dasar pembuatan bubur es. Alat ini memiliki peluang yang besar untuk diterapkan pada kapal nelayan. Bahan dasar dari air laut, karakteristik es yang lembut, dan temperaturnya bisa di bawah 0°C membuat kualitas ikan dapat dijaga dengan lebih baik. Studi ini menghasilkan rancangan bangun *ice slurry generator* dengan *scraper blade evaporator*. Sebanyak 6 kg air laut digunakan sebagai larutan untuk membuat *ice slurry* pada generator es hasil rancangan. Data eksperimental diperoleh dengan melakukan variasi rpm pompa dan *auger shaft* yang dilakukan sebanyak 4 variasi. Hasilnya menunjukkan titik optimum berada pada putaran pompa 2000 rpm dan *auger shaft* 1000 rpm serta konsumsi daya yang digunakan sebesar 389 Watt.

**Kata kunci :** air laut, *ice slurry*, nelayan, *scraper blade*, *evaporator*

### Pendahuluan

Sebagian besar nelayan tradisional Indonesia masih menggunakan cara konvensional untuk mengawetkan ikan hasil tangkapan, yaitu dengan mencampur ikan dengan es balok pada suatu wadah. Penggunaan es balok ini dinilai kurang maksimal karena bisa menimbulkan beberapa kerugian, diantaranya permukaan es yang keras bisa merusak ikan. Selain itu luas permukaan kontak ikan dengan es yang kecil menyebabkan perpindahan kalor kurang maksimal. Proses pendinginan yang kurang baik ini bisa membuat kualitas ikan cepat turun, sehingga harga ikan cepat jatuh, yang selanjutnya dapat mengurangi pendapatan nelayan. Selain itu, nelayan harus kembali ke daratan jika es balok telah habis mencair sehingga tidak bisa melaut lebih lama. Teknologi baru sebagai pengganti es balok saat ini sudah banyak dikembangkan, salah satunya adalah penggunaan *ice slurry* (bubur es) sebagai media pendinginan ikan (Pamitran et al, 2013).

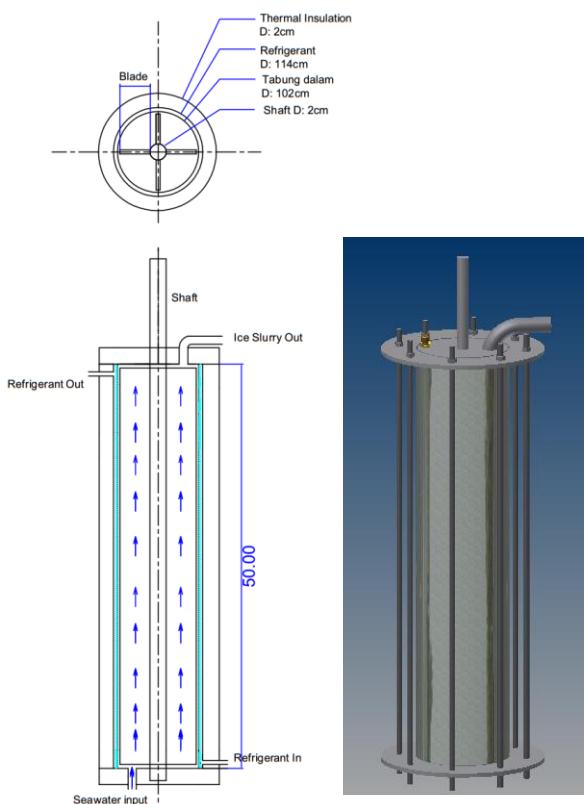
*Ice slurry* merupakan kristal es halus yang terdiri dari campuran air dan zat yang menyebabkan turunnya titik beku campuran. Ukuran diameter partikel kristal *ice slurry* adalah 0,1 sampai 1 mm, tergantung pada tipe aditif, konsentrasi, dan tipe dari *ice generator* yang digunakan. Tanpa adanya *freezing point*

*depressing additive*, diameter kristal es akan berukuran lebih dari 1 mm (Stamatiou et al. 2005). Umumnya *freezing depressant additive* yang sering digunakan adalah alkohol, glikol, dan garam.

Penilitian yang dilakukan saat ini adalah untuk mengembangkan sebuah *sistem ice slurry generator* dengan menggunakan *scraper* dan *auger* pada bagian dalam evaporator. Untuk melihat unjuk kerja dari *ice slurry generator* yang dikembangkan maka dilakukan pengujian dengan variasi kecepatan putar *auger shaft*, yaitu 700 rpm, 800 rpm, 900 rpm, dan 1000 rpm, dan juga variasi kecepatan putar pompa, yaitu 2000 rpm, 2500 rpm, 3000 rpm, dan 3500 rpm.

### Metodologi

Evaporator merupakan tempat pembentukan *ice slurry*. Pada studi ini dikembangkan evaporator tipe *tube in tube*, yaitu berbentuk tabung yang terdiri dari dua lapis tabung. Tabung bagian dalam berisi aliran air laut yang akan dijadikan *ice slurry*. Pada tabung luar dialiri refrigerant R-22 yang mendinginkan air laut hingga membentuk kristal es seperti yang terlihat pada Gambar 1. Prinsip kerja evaporator ini sama dengan alat penukar panas jenis tabung konsentris (*concentric heat tube exchanger*). Aliran

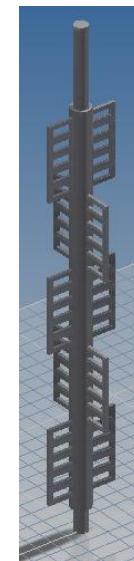


Gambar 1. Evaporator

refrigeran searah dengan aliran air laut (parallel flow), yaitu vertikal ke atas.

Di dalam tabung aliran air laut dipasang shaft pengaduk (*auger shaft*) yang dibuat berbentuk sisir yang diperlihatkan pada Gambar 2. Pola sisir ini bertujuan untuk memastikan es di dalam tabung teraduk dengan baik agar terjaga homogenitasnya. Blade yang berbentuk seperti sisir ini dilas ke poros pejal yang berputar di dalam tabung dengan ditopang oleh dua bearing di setiap ujungnya, yaitu bagian atas dan bawah. *Auger shaft* digerakkan oleh motor listrik yang dihubungkan dengan menggunakan v-belt

Selain untuk menjaga homogenitas bubur es, shaft pengaduk ini juga berfungsi untuk menggerus lapisan es yang terbentuk pada dinding evaporator. Es yang menempel pada dinding evaporator dapat menyebabkan proses perpindahan kalor menjadi menurun karena terhalang oleh es yang mempunyai nilai hambatan kalor cukup besar. Selain itu, lapisan es yang menempel pada dinding evaporator jika dibiarkan lama kelamaan akan menjadi tebal dan menyebabkan *auger shaft* sulit berputar. Idealnya, *clearence* antara



Gambar 2. Shaft pengaduk dengan blade

dinding evaporator dan *scraper blade* adalah 1-3 mm (Lakhdar et al., 2005). Pada alat yang dikembangkan ini dibuat *clearence* 3 mm agar lebih memudahkan dalam proses manufakturnya. Semakin dekat jarak blade dan dinding maka pengerasan akan optimal, akan tetapi gesekan yang ditimbulkan akan besar juga dan membebankan kerja motor listrik. Sebaliknya, jika *clearence* dibesarkan maka gesekan dapat berkurang, namun penggerusan tidak berjalan efektif karena menyisakan banyak gumpalan es di dinding yang bisa menyebabkan tahanan termal menjadi lebih tinggi.

*Ice slurry generator* memiliki satu sistem refrigerasi, dimana terdapat kompresor, kondensor, katup ekspansi yang tergabung dalam satu condensing unit, serta alat pendukung lainnya seperti, *expansion valve* (TXV), dan *shut-off valve*. Refrigeran dari condensing unit dialirkan ke generator es dimana penyerapan kalor lingkungan terjadi, sehingga alat ini juga bisa disebut sebagai evaporator. Spesifikasi *condensing unit* dalam sistem *ice slurry generator* ini dijabarkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi condensing unit

Konsumsi daya	350 W
Arus listrik	4 A
Kapasitas pendinginan	1500 W
Refrigeran	R-22
Volt	220 V
Frekuensi	50 Hz

Air laut dengan temperatur yang lebih tinggi melepaskan kalor kepada refrigeran yang temperaturnya lebih rendah. Air laut yang mengalir terus-menerus karena disirkulasikan dengan pompa centrifugal akan turun temperaturnya hingga berubah menjadi kristal es. Skematik system alat pembuat bubur es ditunjukkan pada Gambar 3.

## Hasil dan Diskusi

*Cooling load* pada sistem pendinginan ini terdiri dari beban produk itu sendiri yaitu air laut, kalor yang berasal dari putaran motor listrik, dan kalor yang datang dari lingkungan. Akan tetapi untuk lebih memudahkan perhitungan maka hanya diperhitungkan beban kalor yang dominan saja, yaitu kalor laten dan kalor sensible pada perubahan fase air laut. Pengujian dilakukan dengan volume

air laut 6 kg yang diukur dari temperatur 15°C hingga terbentuk es pada temperatur air laut yang keluar dari evaporator sekitar -10°C. Kalor sensibel sebesar 603.61 kJ dihitung dengan persamaan (1).

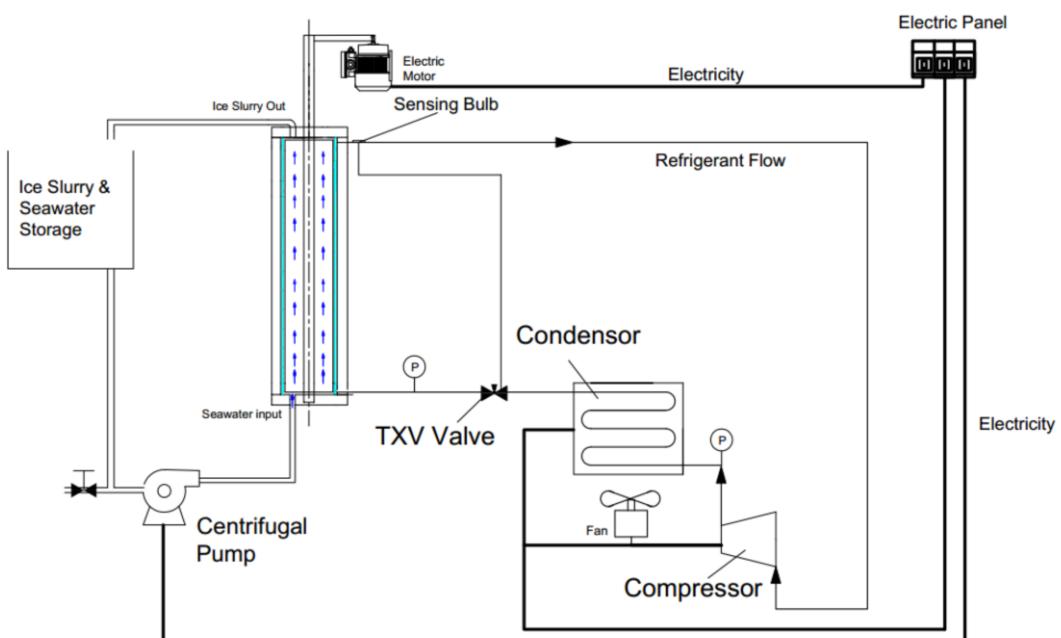
$$Q_s = mc_p \Delta T \quad (1)$$

Dimana  $Q_s$  adalah kalor sensibel,  $m$  adalah massa air laut yang digunakan dalam pengujian, dan  $c_p$  adalah kalor spesifik air laut. Kalor laten sebesar 2,008.32 kJ dihitung dengan persamaan (2).

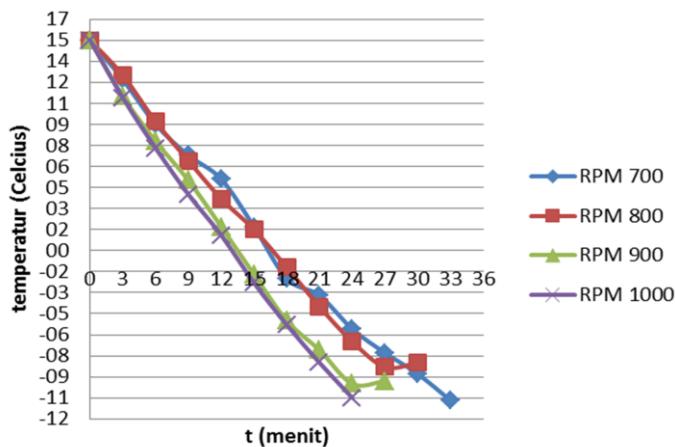
$$Q_L = m L \quad (2)$$

Dimana  $Q_L$  adalah kalor laten dan  $L$  merupakan kalor laten spesifik air laut. Sehingga didapatkan kalor total dari air laut untuk dijadikan *ice slurry* sebesar  $Q_T = 2,611.93$  kJ

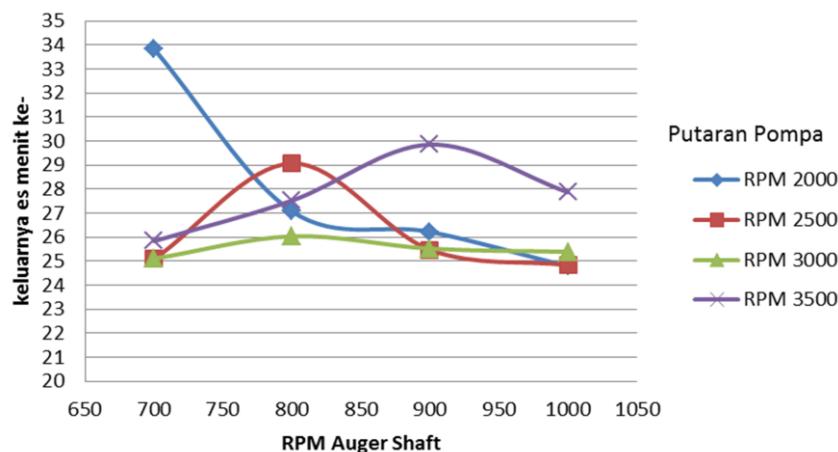
Daya pendinginan diperoleh dengan membagi total kalor terhadap waktu pembentukan *ice slurry* dari hasil pengujian selama 1,758 detik, yaitu sebesar 1.49 kW. Air laut yang disirkulasikan pada sistem kemudian diukur temperaturnya setiap tiga menit. Hasil dari pengukuran tersebut



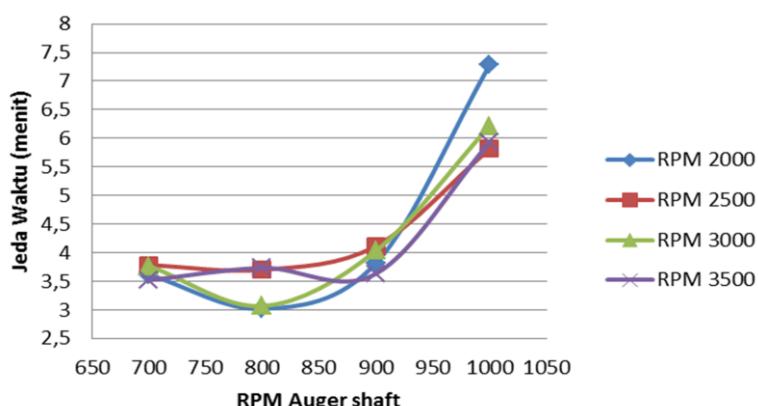
Gambar 3. Skema Sistem Pendingin *Ice Slurry Generator*



Gambar 4. Penurunan temperatur air laut pada variasi rpm *auger shaft* dengan rpm pompa konstan 2000 rpm



Gambar 5. Pengaruh rpm pompa dan rpm motor terhadap waktu keluarnya *ice slurry* dari evaporator



Gambar 6. Pengaruh rpm pompa dan motor terhadap jeda waktu antara keluar es dari evaporator sampai *auger shaft* berhenti karena gesekan

kemudian diplotkan dalam grafik penurunan temperatur seperti yang terlihat pada Gambar 4. Penurunan temperatur air laut yang paling

cepat terjadi ketika putaran *auger shaft* secara berurutan 1000 rpm, 900 rpm, 800 rpm, dan 700 rpm.

Waktu pembentukan ice slurry adalah waktu yang dibutuhkan air laut untuk berubah dari temperatur 15 °C menuju temperatur titik bekunya hingga keluar dari evaporator dan mulai terbentuk di dalam wadah penyimpanan. Pada percobaan ini, *ice slurry* mulai dihasilkan di dalam wadah penyimpanan pada temperatur di -10 °C, nilai temperatur ini jauh dibawah nilai temperatur titik beku air laut yang tidak kurang dari -2 °C, hal ini disebabkan putaran pengaduk yang menghancurkan es yang telah terbentuk di dalam evaporator sehingga menyebabkan dibutuhkannya temperatur yang lebih rendah bagi air laut untuk tetap berada pada fase es atau fase padat.

Keluarnya es yang dihasilkan dari *ice slurry generator* sangat bervariasi tergantung dari putaran pompa dan motor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Jika dirata-ratakan waktu yang dibutuhkan sampai keluarnya es adalah 26 menit 50 detik. Jika dibuat range, waktu tercepat yaitu 24 menit 47 detik pada putaran pompa 2000 rpm dan motor 1000 rpm. Sedangkan waktu terlama adalah 33 menit 50 detik pada putaran pompa 2000 rpm dan motor 700 rpm.

Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin cepat putaran *auger shaft* maka akan semakin cepat juga penurunan temperatur air laut yang terjadi. Hal ini sesuai dengan teori yang mengatakan bahwa es yang terbentuk pada dinding evaporator semakin lama akan semakin tebal dan akan membuat tahanan termal yang menyebabkan proses perpindahan kalor semakin lama (Stamatiou et al, 2005). Oleh sebab itu, dengan adanya penggerusan yang cepat akan mengakibatkan tidak adanya penumpukan es di dinding sehingga semakin cepat putaran motor maka akan semakin cepat juga proses pendinginan yang terjadi. Selain itu, perpindahan kalor yang terjadi di dalam tabung akan lebih merata.

*Ice slurry* yang dibuat pada penelitian kali ini masih memiliki kelemahan yaitu *auger shaft* yang menjadi penggerus sekaligus pengaduk tidak dapat berputar terus menerus setelah keluarnya bubur es dikarenakan sudah terjadinya *freezing* di dalam evaporator. Akan tetapi untuk melihat seberapa banyak es yang dihasilkan bisa dilihat pada Gambar 6 yang menunjukkan lamanya *auger shaft* masih bisa berputar sejak keluarnya bubur es. Semakin lama *auger shaft* berputar maka es yang dihasilkan juga semakin banyak.

Penelitian ini bertujuan untuk rancang bangun *ice slurry generator* yang lebih efektif dan efisien. Produk ini dikatakan efektif jika bisa menghasilkan bubur es yang banyak dalam waktu singkat. Sedangkan efisien jika modal biaya pembuatannya yang terjangkau serta konsumsi energinya yang rendah. Sebuah perbandingan sederhana dengan produk *ice slurry generator* yang telah beredar di pasaran diperlukan untuk melihat sejauh mana alat yang penulis rancang bisa bersaing.

Pengujian sebelumnya dengan volume air laut 16,37 liter menunjukkan pendinginan berlangsung selama 1,23 jam dari temperatur lingkungan sampai temperatur -10°C. Pada temperatur inilah bubur es terbentuk. Generator bubur es ini beroperasi dengan daya total 389 Watt yang terdiri dari *condensing unit*, pompa sentrifugal, dan motor listrik penggerak *auger*. Untuk modal biaya pembuatan yang terdiri dari evaporator, pompa sentrifugal, motor listrik, *condensing unit*, dan beberapa bagian pendukung lainnya, penulis membutuhkan biaya sebesar Rp 14.700.000,00. Akan tetapi biaya ini masih bisa ditekan apabila produk ini bisa diproduksi masal.

Sebagai pembanding, sebuah produk komersil *ice slurry generator* dijual di pasaran dengan harga sekitar Rp

Tabel 2. Perbandingan produk *ice slurry generator*

<b>Ice Slurry Generator</b>	<b>Daya (kW)</b>	<b>Laju produksi</b>		<b>Harga (Rp)</b>
DTM FTUI	0.389	10.9 iter/jam	28 liter/kWh	Rp 14,700,000
Produk komersil	4.3	28 liter/jam	6.5 liter/kWh	Rp 130,000,000

130.000.000,00 per unit. Generator ini beroperasi dengan daya 4,3 kW dan dapat menghasilkan bubur es sebanyak 28 liter/jam. Generator bubur es hasil penelitian kali ini menunjukkan tingkat efisiensi yang lebih tinggi dibanding dengan produk komersil dilihat dari konsumsi energinya. Jika dilihat dengan banyaknya es yang dihasilkan persatuan energi (liter/kwh) generator bubur es hasil penelitian di DTM FTUI lebih banyak sekitar empat kali lipat. Konsumsi energi berbanding lurus dengan biaya penggunaan listrik sehingga bisa disimpulkan bahwa produk generator bubur es hasil penelitian kali ini bisa lebih efisien walaupun waktu yang dibutuhkan lebih lama. Belum lagi harga per unit dari produk hasil penelitian ini bisa lebih murah sekitar sepersembilan harga produk komersil.

## Kesimpulan

Sistem *ice slurry generator* hanya membutuhkan daya 389 Watt yang terdiri dari *condensing unit* 261.6 Watt, pompa sentrifugal 17 watt, dan motor listrik untuk penggerak *auger shaft* 110.4 Watt. Semakin cepat putaran *auger shaft*, maka perpindahan kalor dari air laut ke refrigeran juga semakin cepat karena es yang membentuk tumpukan pada dinding bisa cepat tergerus sehingga tahanan termal berkurang serta pengadukan oleh shaft juga menyebabkan perpindahan kalor lebih merata dan menghasilkan campuran kristal es yang stabil dan lebih

homogen. Hasil pengujian menunjukkan putaran pompa dan *auger shaft* yang optimal berada pada putaran 2000 rpm & 1000 rpm berdasarkan laju pendinginan, keluarnya es, dan banyaknya es yang dihasilkan. Dari modal biaya pembuatan serta biaya pengoperasian, *ice slurry generator* hasil penelitian kali ini cukup layak untuk digunakan oleh nelayan Indonesia khususnya bagi kapal-kapal yang berlayar mingguan hingga bulanan.

## Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Laboratorium Teknik Pendingin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

## Referensi

- [1] A.S.Pamitran, H.D. Ardiansyah, M. Novviali, A review paper of sea-water ice slurry generator and its application on Indonesian traditional fishing, *Applied Mechanics and Materials* 388 (2013) 128-132
- [2] E. Stamatoua, J.W. Meewiseb, M. Kawajia, Ice slurry generation involving moving parts, *International Journal of Refrigeration* 28 (2005) 60-72
- [3] M.B. Lakhdar, R. Cerecer, G. Alvarez, J. Guilpart, D. Flick, A. Lallemand, Heat transfer with freezing in a scraped surface heat exchanger 25 (2005) 45-60