

Unjuk Kerja *Scraper Blade Evaporator* dan *Orbital Rod Evaporator* pada *Ice Slurry Generator* Berbahan Dasar Air Laut

Agus S. Pamitran^{1*}, Mach Novviali², Helmi D. Ardiansyah²

¹Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Kampus UI Depok, Depok 16426

²Program Magister Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Kampus UI Depok, Depok 16424

*Corresponding author: pamitran@eng.ui.ac.id

Abstrak

Metode pendinginan yang lebih efektif dibutuhkan nelayan sebagai media penyimpanan ikan untuk dapat menghasilkan kualitas ikan yang baik dan tahan lama. Penggunaan es balok oleh sebagian nelayan di Indonesia masih dianggap kurang efektif dikarenakan bersifat keras dan merusak ikan. Selain itu di beberapa daerah sulit untuk mendapatkan es balok dengan harga yang terjangkau. Salah satu solusi yang ditawarkan untuk menghasilkan kualitas ikan lebih segar dan awet adalah dengan pendinginan menggunakan *ice slurry* berbahan dasar air laut. Bentuk dan proses pembuatan yang sangat unik membuat *ice slurry* mempunyai kelebihan di antara es dan air. Dalam aplikasinya sudah mulai banyak diterapkan sebagai sistem pendingin gedung, penyimpanan untuk kebutuhan medis, dan sebagainya. Penerapan *ice slurry* sebagai media pendingin ikan diharapkan mampu meningkatkan kesejahteraan dan pemerataan perekonomian nelayan. *Ice slurry* mulai terbentuk setelah temperatur fluida turun hingga temperatur bekunya, yaitu ketika terbentuk nukleasi awal saat di temperatur beku, terjadi perbedaan potensial kimia ($\Delta\mu$) terhadap kondisi saturasi. Es kristal dapat terbentuk ketika timbul es karena kesetimbangan potensial kimia. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati karakteristik *ice slurry* dan membandingkan unjuk kerja pada dua sistem *ice slurry generator* bertipe *scraper blades evaporator* dan *orbital rod evaporator*. Pengujian dilakukan dengan variasi volume air laut pada 4.5 liter, 4 liter, 3.5 liter, dan 3 liter. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa sistem *scraper blade evaporator* lebih efektif penggunaan energinya dibanding sistem *orbital rod evaporator*, yaitu sebesar 42-52 %. waktu pendinginan air laut pada *Scraper Blades Evaporator* lebih cepat 6% dibandingkan dengan *Orbital Rod Evaporator* pada volume 3.5 liter, 4 liter, dan 4.5 liter. Sedangkan pada volume 3 liter *Orbital Rod Evaporator* semakin lebih cepat dibandingkan dengan *Scraper Blades Evaporator*, yaitu 6%. Energi penggunaan paling banyak terjadi saat *ice slurry generator* mendinginkan air laut terdapat pada volume terbesar, sedangkan daya listrik yang terbesar dibutuhkan oleh *orbital rod evaporator*. Hasil fraksi es yang terbentuk paling banyak pada *model scraper blades* dibanding *orbital rod*.

Keywords: *Ice slurry*, *scraper*, *orbital*, air laut, energi, ikan

Pendahuluan

Indonesia sebagai negara kelautan dan berada di daerah beriklim tropis merupakan surga bagi banyaknya jumlah dan spesies ikan di dunia. Dengan luas laut Zona Ekonomi Eksklusif yang mencapai 2,981 juta km² dan panjang garis pantai 104.000 km, nelayan Indonesia yang berjumlah 1.667.949 orang mampu menyediakan ikan untuk konsumsi pada tahun 2010 pada kisaran angka 9,199 juta ton (KKP, 2011). Namun kenyataan tersebut tidak sebanding dengan kondisi kehidupan nelayan-nelayan di Indonesia yang sebagian besar masih tergolong miskin meskipun sumber daya alam perikanan Indonesia sangat kaya dan produksi hasil tangkapan yang besar.

Ketidakmerataan tingkat sosial ekonomi masyarakat nelayan ini disebabkan oleh beberapa faktor, salah

satunya adalah sarana pengelolaan dan pengolahan hasil tangkapan yang kurang baik. Masih banyak para nelayan yang menggunakan cara konvensional untuk mengawetkan dan mendinginkan hasil tangkapan ikan dengan menggunakan es balok. Sistem pendinginan es balok kurang cocok untuk hasil tangkapan ikan laut karena dapat merusak ikan dan harga es balok untuk beberapa daerah pesisir maupun kepulauan di Indonesia cukup mahal. Hal ini menjadi fakta bahwa sebagian besar usaha penangkapan ikan di laut dikerjakan oleh para nelayan Indonesia masih bersifat tradisional baik dari segi penangkapan, penanganan, dan alat tangkap. Dengan perahu motor tempel atau perahu tanpa motor dengan alat tangkap yang umumnya sederhana (kurang efisien), para nelayan tradisional hanya bisa menangkap ikan di perairan laut pesisir (dekat pantai) dan hanya bisa melaut 7-9 bulan dalam setahun. Akibatnya, hasil

tangkapan ikan (produktivitas)-nya pun rendah ditambah terjadi penurunan produksi mencapai 209 kg per bulan karena sistem bagi hasil dan bertambahnya jumlah nelayan dengan pemanfaatan sumber daya ikan yang hanya 69.68% (Yonvitner, 2007).

Salah satu cara pendinginan efektif yang dapat menggantikan pendinginan konvensional tersebut adalah pendinginan dengan media *ice slurry*. *Ice slurry* terdiri dari larutan air yang mempunyai kristal es (E. Stamatou et al., 2003) dan fluida yang digunakan dapat berupa air murni atau campuran antara air dengan larutan penurun titik beku, yaitu Sodium Chloride, Ethanol, Ethylene Glycol, Propylene Glycol (Kauffeld et al., 2010).

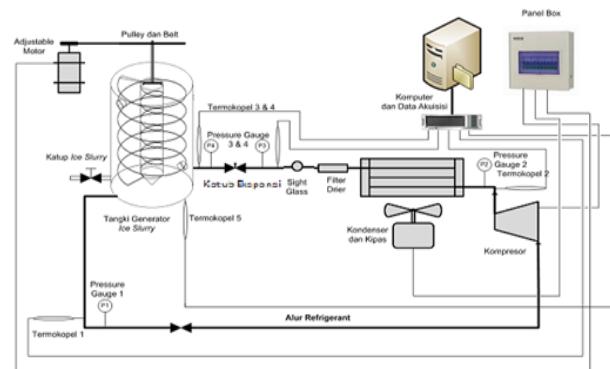
Kelebihan aplikasi *ice slurry* antara lain mengurangi ukuran tank, pompa, pipa dan *chiller* karena tingginya densitas energi penyimpanan dan kemampuan berpindah dari *ice slurry*, bahkan dapat mereduksi lebih dari 70% daya pompa dibanding dengan fluida biasa (Kasza et al., 1988). Sebagai sistem pendinginan ikan, *ice slurry* dapat menjaga agar tidak ada udara antara ikan dan es, sehingga pendinginan ikan menjadi cepat karena luas permukaan bidang kontak lebih besar dan pertumbuhan bakteri menjadi lebih lambat sehingga memperpanjang daya hidup ikan. (Wang et al., 2003). dan waktu pendinginan ikan tiga kali lebih cepat dibanding es flake untuk menurunkan sampai temperatur 2°C (J Paul, 2002).

Metode dalam pembuatan *ice slurry* telah berkembang cukup pesat, T A Mouneer et al. (2011), mencoba membandingkan sistem *Scraper Ice slurry Generator* dengan *Super Cooled Water Jet*. Selain itu Asaoka et al. (2006) mengembangkan sistem *Vacuum Freezing* dan Pronk et al. (2005) dengan *Fluidized bed*. Terdapat pula sistem yang mencampur refrigerant dengan larutan *ice slurry* yaitu *Direct Contact Heat Transfer* yang diteliti oleh N.E. Wijeyesundera et al. (2004).

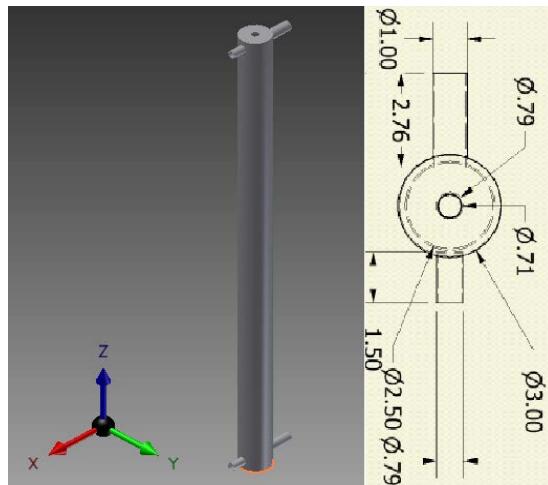
Pada penelitian ini digunakan modifikasi model yang telah digunakan oleh Paul Mueller Company yaitu *Orbital Rod Ice slurry Generator* serta membandingkan performa dengan *Scraper Ice slurry Generator*. Hasil percobaan digunakan untuk menganalisa pembentukan *ice slurry* dengan menggunakan larutan air laut.

Metoda Eksperimen dan Fasilitas Pengujian

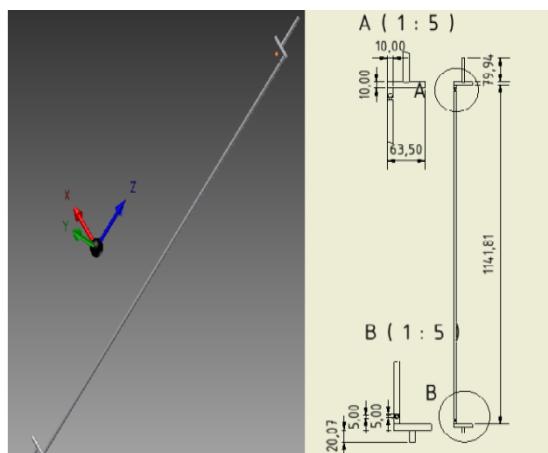
Jenis *ice slurry generator* yang digunakan terdapat dua jenis evaporator yaitu *orbital rod evaporator* (ORE) dan *scraper blades evaporator* (SBE). Sistem pendingin yang digunakan terdiri atas kompresor, kondenser, liquid receiver, sightglass, TXV, dan accumulator. Sedangkan alat ukur yang digunakan adalah *thermocouple* tipe T pada 4 titik di sistem



Gambar 1. Skema Kerja Sistem *Ice Slurry Generator*

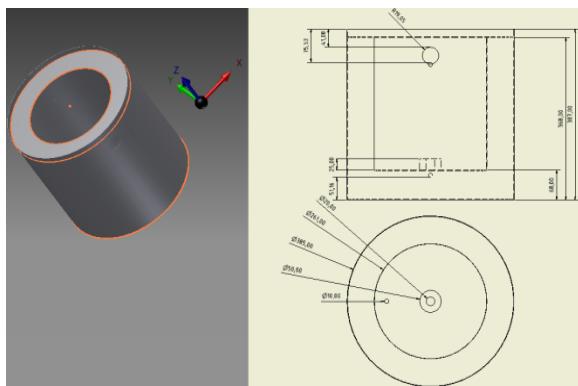


Gambar 2. Dimensi Tabung Evaporator Orbital rod dan Dimensi Penampang Alas (Satuan Inch)

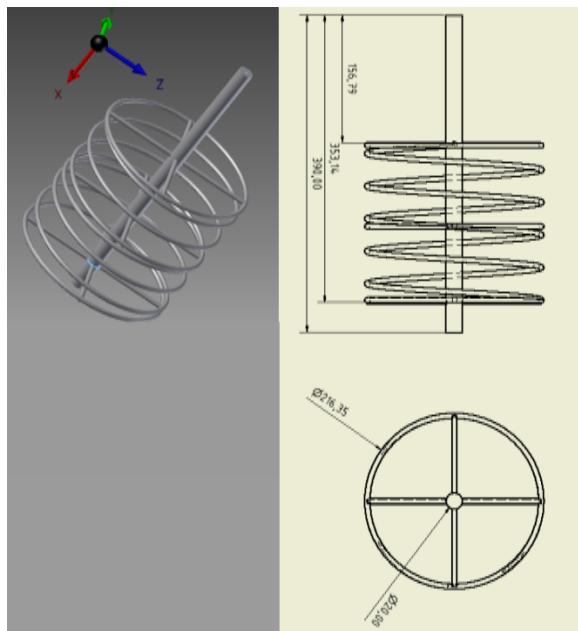


Gambar 3. Dimensi Shaft Evaporator Orbital rod dan Detail Gambar Dimensi (Satuan mm)

pendingin dan 1 titik evaporator, *pressure gauge*, amper meter, tachometer untuk mengukur putaran shaft baik model *scraper* dan *orbital rod*. Skema kerja sistem *ice slurry generator* diilustrasikan pada Gambar 1. Untuk menjaga keakuratan data dalam pengambilan data temperatur ruang dijaga pada kondisi tertentu menggunakan *Air Conditioning* dan



Gambar 4. Dimensi Tabung Evaporator Scraper dan Dimensi Penampang Alas



Gambar 5. Dimensi Shaft Evaporator Scraper dan Detail Gambar Dimensi (Satuan mm)

penggunaan *voltage stabilizer* untuk menjaga voltase konstan.

Evaporator dan shaft untuk *Orbital Rod Ice Slurry Generator* digambarkan pada Gambar 2 dan Gambar 3. *Orbital Rod Ice Slurry Generator* mempunyai cara kerja sama dengan *scraper blades*, yang membedakan adalah pada *shaft auger* berputar secara rotasi dan sekaligus berputar terhadap dinding

evaporator. Kecepatan putar dari auger sistem falling film lebih tinggi dibanding scaper namun daya power lebih kecil (E. Stamatou et al., 2005). Dimensi *Orbital Rod Ice Slurry Generator* adalah diameter dalam 0.0635 m (2.5 inch) diameter luar 0.0762 m (3 inch), dan panjang 1.5 meter dengan sistem flooded evaporator. Shaft dari orbital rod evaporator diputar saat temperatur 10 °C dengan kecepatan 200 rpm.

Gambar 4 dan 5 menggambarkan tabung dan *shaft evaporator scraper*. *Scraper ice slurry generator* menggunakan diameter pipa lilitan 3/8" atau 9.525 x

10⁻³ m, diameter evaporator 0.26 m dan panjang lilitan 2.8 m. *Shaft auger* diputar dengan kecepatan konstan 110 rpm ketika temperatur air laut 10 °C. Banyak industri menggunakan sistem *scraper* karena lebih banyak menghasilkan fraksi es sekali bekerja dibanding sistem lain (E. Stamatou et al., 2005, T A Mounier et al., 2011).

Setiap pengambilan data pada masing-masing volume air laut, salinitas air laut diatur 26 ppt yang diukur menggunakan *hydro salinity*. Variasi volume antara lain 4.5 liter, 4 liter, 3.5 liter dan 3 liter.

Untuk mengolah hasil pengujian menggunakan persamaan berikut. *Coefficient of Performance* (COP) adalah bilangan tidak berdimensi yang digunakan untuk menyatakan kinerja dari sebuah siklus termodinamik atau sistem termal. Besarnya COP untuk sistem refrigerasi dapat dirumuskan dalam persamaan berikut.

$$COP = \frac{Q_{\text{evaporator}}}{W_{\text{kompresor}}} \quad (1)$$

sedangkan untuk menentukan total daya listrik yang digunakan diukur menggunakan ampere meter setiap komponen yang menggunakan listrik antara lain kipas, kompressor dan motor listrik. Besar energi yang dibutuhkan adalah:

$$E = W_{\text{Total}} \cdot t \quad (2)$$

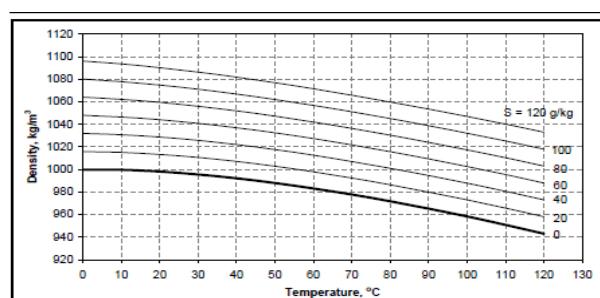
Untuk menentukan fraksi es dari *ice slurry* digunakan persamaan Jean-Pierre Be'de'carrats et al. (2009) dan Cecilia Hägg (2005)

$$C = \frac{\rho_{ICE}}{\rho_{IS}} \left(\frac{\rho_{CF} - \rho_{IS}}{\rho_{CF} - \rho_{ICE}} \right) \quad (3)$$

Masa jenis dari *ice slurry* dapat diukur, sedangkan masa jenis es dihitung menggunakan persamaan A Melinder (2010)

$$\rho_{ICE} = 917 - 0.13T \quad (4)$$

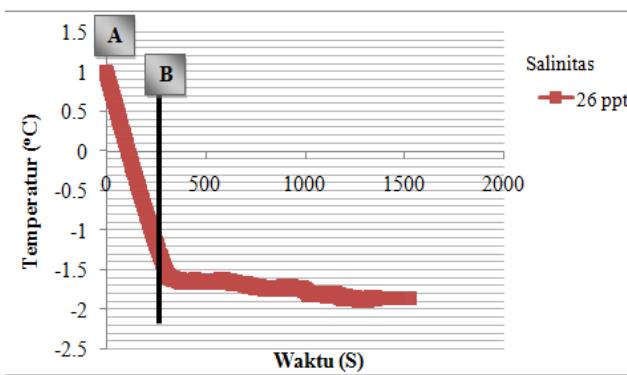
dan masa jenis air laut diperoleh dengan menggunakan grafik dari data Mustafa H et al. (2010), seperti ditampilkan pada Gambar 6..



Gambar 6. Hubungan Temperatur dengan Masa Jenis dan Salinitas Air Laut

Hasil dan Pembahasan

Proses pembentukan *ice slurry*

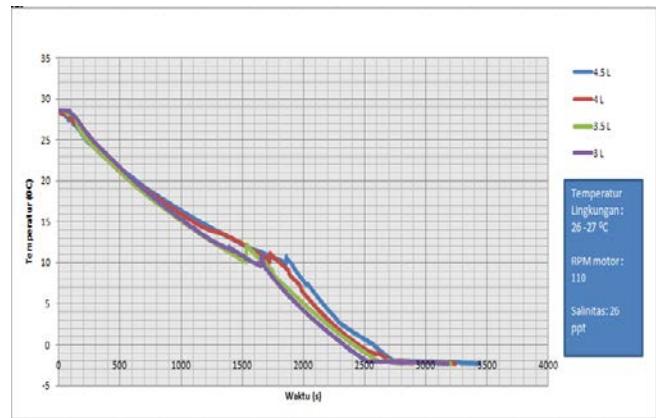


Gambar 7. Proses pembentukan *ice slurry*

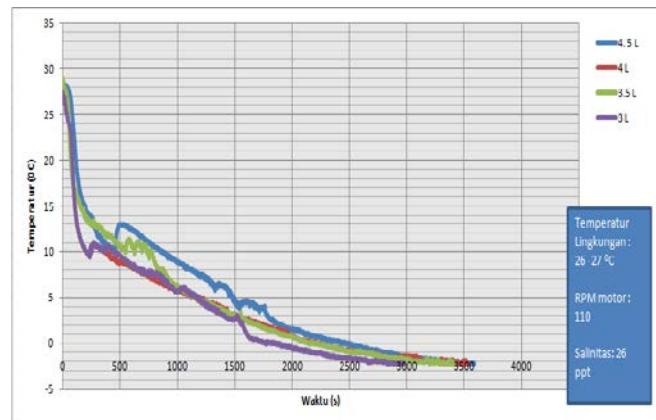
Gambar 7 menggambarkan proses pembentukan *ice slurry*. Titik A sampai B adalah penurunan temperatur dimana temperatur tersebut lebih rendah dari titik beku air karena pengaruh salinitas, penurunan temperatur ini disebut dengan *supersaturation*. Mulai terbentuknya fraksi es adalah pada titik B yang disebut dengan *nukleasi*, awal pembentukannya dapat dilihat dari model penurunan temperatur yang sesuai dengan hasil data percobaan Melinder et al (2008), yang menghubungkan penurunan temperatur dengan pembentukan fraksi es. Batas nukleasi yaitu *Grow*, adalah fase fraksi es kondisi maksimum dan diameter es mulai berkembang. Namun akhir titik B tidak dapat diketahui karena tidak dilakukannya *sample port* untuk hasil *ice slurry*, sehingga dalam percobaan tidak dapat menentukan batasan dimana fraksi es telah berhenti terbentuk. Hasil ini sesuai dengan pendapat dari T.A. Mounier et al (2011) yang menampilkan grafik penurunan temperatur dan pembentukan es terhadap waktu menggunakan *scraper ice slurry generator*.

Ice slurry mulai terbentuk setelah temperatur fluida melewati temperatur beku, ketika terbentuk nukleasi awal saat di temperatur beku, terjadi perbedaan potensial kimia ($\Delta\mu$) terhadap kondisi saturasi. Es kristal dapat terbentuk ketika timbul es karena kesetimbangan terjadi potensial kimia. Gaya pembawa yang membuat temperatur beku lebih rendah dari air pada 0°C dan proses dalam keadaan keseimbangan potensial kimia yang membuat pemisahan dari campuran air laut yang terdiri dari air dan kadar garam. Air secara parsial membeku untuk membuat perbedaan potensial kimia yang dibutuhkan untuk kristalisasi dan air hasil pemisahan yang akan menjadi fraksi es dalam *ice slurry*. Fenomena penurunan temperatur beku larutan tertuang dalam *Raoult Law*.

Perbandingan waktu nukleasi



Gambar 8. Waktu pendinginan air laut pada *Orbital Rod Ice Slurry Generator*



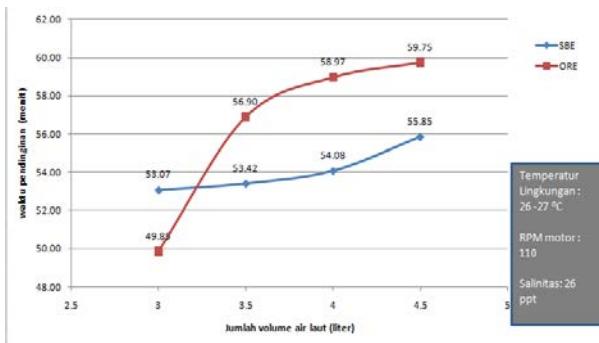
Gambar 9. Waktu pendinginan air laut pada *Scraper Blade Ice Slurry Generator*

Gambar 8 dan 9 menunjukkan waktu pendinginan *ice slurry*. Proses nukleasi memperlihatkan bahwa waktu pendinginan paling cepat pada saat volume air laut 3 liter dengan waktu pendinginan 53,07 menit pada *Scraper Blade Ice Slurry Generator* dan 49,85 menit pada *Orbital Rod Ice Slurry Generator*. Sedangkan waktu terlama terjadi saat pendinginan air pada volume 4,5 liter dengan waktu pendinginan 55,85 menit pada *Scraper Blade Ice Slurry Generator* dan 59,75 menit pada *Orbital Rod Ice Slurry Generator*.

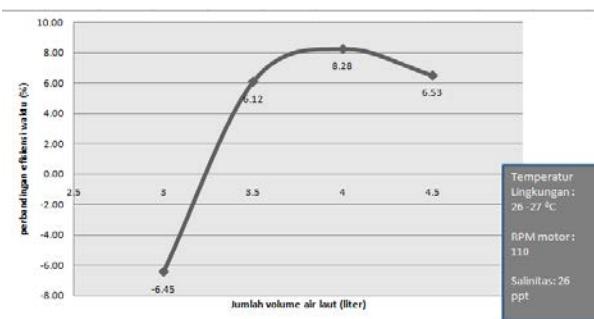
Perbandingan waktu pendinginan air laut

Waktu pendinginan air laut adalah salah satu parameter dalam perbandingan unjuk kerja pada *Scraper Blades Evaporator* dan *Orbital Rod Evaporator*. Waktu pendinginan yang ditempuh dari temperatur awal 28°C hingga mencapai -2.27°C pada setiap variasi volume air laut.

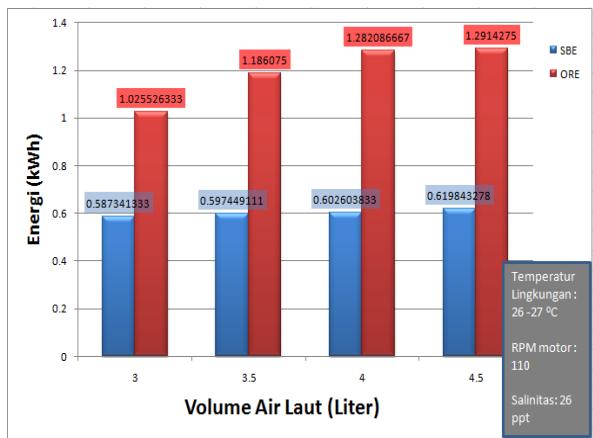
Dengan melihat gambar 10 dan 11 dapat disimpulkan bahwa jumlah volume air laut mempengaruhi lamanya waktu pendinginan air laut. Semakin banyak



Gambar 10. Volume air laut vs waktu pendinginan air laut



Gambar 11. Volume air laut vs perbandingan efisiensi waktu *Scrapers Blade Ice Slurry Generator* dan *Orbital Rod Ice Slurry Generator*



Gambar 12. Perbandingan Pemakaian Energi pada *Scrapers Blade Ice Slurry Generator* dan *Orbital Rod Ice Slurry Generator*

jumlah volumenya maka semakin lama waktu pendinginannya.

Perbandingan energi

Berdasarkan Gambar 12, energi terkecil yang digunakan untuk memproduksi *ice slurry* terdapat pada volume 3 liter. Sedangkan besarnya energi yang digunakan semakin meningkat seiring semakin besarnya beban produksi yang didinginkan. *Scrapers Blade Ice Slurry Generator* memiliki nilai efisiensi

42 – 52 % lebih baik daripada *Orbital Rod Ice Slurry Generator*.

Perbandingan hasil pembentukan fraksi es

Hasil fraksi es pada *Scrapers Blade Ice Slurry Generator* berkisar antara 9 – 12% sedangkan pada *Orbital Rod Ice Slurry Generator* hanya di bawah 1% pada setiap variasi volume. Sehingga, dengan menggunakan alat uji dalam penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa sistem *Scrapers Blade Ice Slurry Generator* masih lebih baik untuk menghasilkan *ice slurry* dibandingkan dengan sistem *Orbital Rod Ice Slurry Generator*. Hal ini disebabkan pada sistem *Orbital Rod Ice Slurry Generator* sulit terbentuk fraksi es diakibatkan sirkulasi secara terus menerus. Sirkulasi ini mengakibatkan sulitnya terbentuk es karena akan mencair ketika dihisap oleh pompa.

Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa waktu pendinginan air laut pada *Scrapers Blades Evaporator* lebih cepat 6% dibandingkan dengan *Orbital Rod Evaporator* pada volume 3.5 liter, 4 liter, dan 4.5 liter. Sedangkan pada volume 3 liter *Orbital Rod Evaporator* semakin lebih cepat dibandingkan dengan *Scrapers Blades Evaporator*, yaitu 6%. Energi penggunaan paling banyak terjadi saat *ice slurry generator* mendinginkan air laut terdapat pada volume terbesar, sedangkan daya listrik yang terbesar dibutuhkan oleh *orbital rod evaporator*. Hasil fraksi es yang terbentuk paling banyak pada *model scraper blades* dibanding *orbital rod*.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Universitas Indonesia (DRPM UI) atas pendanaan untuk penelitian ini melalui Dana Riset DIPA UI Tahun Anggaran 2012, Hibah Riset Madya.

Nomenklatur

C	Fraksi es (kg/kg)
ρ	Massa Jenis (kg/m^3)
T	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
k	Konduktivitas Termal (W/m.K)
μ	Viskositas (kg/m.s)
Nu	Nusselt Number
Pr	Prandlt Number
Re	Reynold Number

Subscripts dan Superscripts

ice	Es
cf	Carrier fluid
is	Ice slurry

Referensi

- A°. Melinder*, Properties and other aspects of aqueous solutions used for single phase and *ice slurry* applications, international journal of refrigeration 33 (2010) 1506e1512
- A°, Melinder, 2008. General properties and characteristics of aqueous solutions used in indirect systems. In: Proc. 8th IIRGustav Lorentzen Conf. Nat. Working Fluids, Copenhagen.
- E. Stamatioua, J.W. Meewisseb, M. Kawajia.2004. *Ice slurry* generation involving moving parts. International Journal of Refrigeration 28 (2005) 60–72
- Pin~ eiro, C., Barros-Velazquez, J., Auboug, S.P., 2004. Effects of newer slurry ice systems on the quality of aquatic food products. Trends Food Sci. Technol. 15, 575e582.
- Yonvitner.,2007. Produktivitas nelayan, kapal dan alat tangkap di wilayah pengelolaan perikanan indonesia. Journal Fish Sci.IX(2) : 254-266
- Cecilia Hägg ,2005,*Ice slurry* as Secondary Fluid in Refrigeration Systems, Fundamentals and Applications in Supermarkets,School of Industrial Engineering and Management,KTH
- Kauffeld M, Wang M J, Goldstein V, Kasza K E. *Ice Slurry Applications*. International Journal of Refrigeration 33 (2010) 1491 – 1505
- Wang, M.J., Goldstein, V., 2003. Ice slurry: advanced fish chilling and preservation technology. Am. Fis Soc. Symp. 38, 379e386
- J. Paul, Innovative applications of pumpable ice slurry, Paper given at Institute of Refrigeration, 7 Feb, London, UK, 2002.
- T.A. Mounier *, M.S. El-Morsi, M.A. Nosier, N.A. Mahmoud, Heat transfer performance of a newly developed ice slurry generator: A comparative study. Ain Shams Engineering Journal (2010) 1, 147–157
- Asaoka T, Saito A, Okawa S, Kumano H, Hozumi T, Matsunaga T, Ichioka J. Study on formation of ice slurry using ethanol solution with vacuum evaporation. Trans JSRAE 2006;23(2):165–74.
- N.E. Wijeysundera*, M.N.A. Hawlader, Chan Wee Boon Andy, M. Kamal Hossain, Ice-slurry production using direct contact heat transfer, International Journal of Refrigeration 27 (2004) 511–519
- Pronk P, Infante Ferreira CA, Witkamp GJ. Circulating fluidized bed heat exchanger for ice slurry production. In: Proceedings of the IIR conference on thermophysical properties and transfer processes of refrigerants, Vicenza (Italy); 2005.
- Jean-Pierre Be'de'carrats, Franc'oise Strub, Christophe Peuvrel.2009. Thermal and hydrodynamic considerations of ice slurry in heat exchangers. international journal of refrigerat i on 32 (2009)1791 – 1800
- Cecilia Hägg ,2005,Ice Slurry as Secondary Fluid in Refrigeration Systems, Fundamentals and Applications in Supermarkets,School of Industrial Engineering and Management,KTH