

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengawetan Kualitas Ikan

Pengawetan kualitas ikan dengan *ice slurry* adalah metode yang efektif dan inovatif dalam menjaga kesegaran ikan setelah ditangkap. *Ice slurry* dapat memberikan pendinginan yang cepat dan merata pada ikan, sehingga mengurangi pertumbuhan bakteri dan memperlambat degradasi kualitas ikan [1]. *Ice slurry* mampu memberikan pendinginan yang sangat cepat pada ikan karena memiliki konduktivitas termal yang tinggi. Hal ini membantu mencegah pertumbuhan bakteri dan kerusakan enzimatik yang terjadi ketika suhu ikan meningkat setelah ditangkap[2]. Partikel partikel es dalam *ice slurry* terdistribusi secara merata di sekitar ikan, memastikan bahwa semua bagian ikan mendapatkan pendinginan yang sama.

Ini membantu mencegah bagian-bagian ikan tertentu dari mengalami kerusakan lebih cepat daripada yang lain [3]. Penggunaan *ice slurry* dapat membantu mempertahankan kualitas sensoris ikan, seperti warna, tekstur, dan rasa, karena memperlambat proses yang terjadi selama penyimpanan [4]. Dengan memberikan pendinginan yang cepat dan efektif, *ice slurry* dapat memperpanjang umur simpan ikan. Ini memungkinkan ikan untuk tetap segar dan berkualitas tinggi lebih lama, sehingga meningkatkan nilai komersialnya [1]. *Ice slurry* juga membantu mencegah pembekuan berlebihan pada ikan, yang dapat merusak tekstur dan kualitasnya[5].

Dibandingkan dengan metode pendinginan lainnya, *ice slurry* memungkinkan suhu yang lebih stabil dan terkendali. *Ice slurry* dapat digunakan selama transportasi ikan dari tempat penangkapan ke tempat penyimpanan atau pasar, menjaga ikan tetap dingin dan segar selama perjalanan [2]. Penggunaan *ice slurry* untuk pengawetan kualitas ikan merupakan contoh aplikasi yang inovatif dalam industri perikanan. Metode ini terus menjadi fokus penelitian dan pengembangan untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitasnya dalam menjaga

ga kesegaran ikan dan memenuhi permintaan pasar yang semakin tinggi akan produk ikan berkualitas tinggi [4].

2.2 Ice Slurry

Campuran homogen dari partikel-partikel kecil batuan dan penyangga cairan dalam bentuk air murni atau pelarut biner terdiri dari air dan bintik-bintik beku. Natrium klorida, etanol, etilen glikol dan propilena glikol adalah penghambat yang sering digunakan dalam industri ini. Bubur es memiliki kepadatan penyimpanan energi tinggi karena potensi panas kristal es yang diproduksi oleh bubur es. Bubur juga memiliki kecepatan pendinginan tinggi karena permukaan perpindahan panas yang besar diproduksi oleh partikel-partikelnya. Bubur es akan mempertahankan suhu rendah dan stabil selama pendinginan dan menciptakan koefisien perpindahan panas yang lebih tinggi daripada air atau fase cair [4].

Generator bubur es mesin yang menghasilkan bubur es melalui efek pendinginan dan mampu menghasilkan bubur es dengan berukuran yang sesuai, diinginkan dengan kemampuan perpindahan panas rata-rata yang tinggi dan adanya penggumpalan pada dinding mesin. Dalam generator bubur es jenis ini, zat pendingin dalam tabung bagian dalam berdinding ganda, dibatasi oleh silinder internal, tempat air atau bahan mentah bubur es mengalir. Pada bagian ini, bubur es terbentuk di dinding bagian dalam dan dikeluarkan menggunakan pengikis putar. *Ice slurry* ini kemudian jatuh ke dalam larutan tersuspensi dan bergabung satu sama lain untuk meningkatkan rasio es [6].

2.3 Karakteristik *Ice Slurry*

Karakteristik dari *ice slurry* telah ditinjau dan diteliti selama beberapa tahun, bahkan sejak tahun 1975. Beberapa perusahaan telah menguji desain generator bubur es dengan berbagai tingkat keberhasilan. Pompa untuk bubur es juga telah diteliti oleh beberapa universitas dan laboratorium, baik di Indonesia maupun di luar negeri. Departemen Energi telah mensponsori studi, termasuk

studi pada tahun 1990 yang membahas penggunaan bubuk es dalam sistem pendinginan distrik dan aplikasi lainnya[7].

Generator *ice slurry* yang dijelaskan dalam makalah ini dikembangkan pada awal tahun 1990-an dan mulai diproduksi pada tahun 1995. Sejak tahun 1995, sekitar 40 proyek telah menggunakan generator bubuk es ini, dengan kapasitas bubuk es berkisar dari 3 ton hingga lebih dari 4.000 ton, dan banyak proyek lainnya sedang dalam tahap desain atau perencanaan. Makalah ini akan meninjau tiga proyek yang representatif dan membahas karakteristik dasar dari perkembangan saat ini dan masa depan sistem *ice slurry* [8].

2.4 Komponen mesin *ice slurry*

1. Condensing Unit

Condensing Unit adalah kombinasi kompresor dan kondenser yang berfungsi untuk mendinginkan dan mengkondensasi uap refrigeran menjadi cairan. Ini termasuk juga kipas untuk membuang panas dari kondensor. Semua komponen ini terpasang pada plat dasar atau bingkai dengan pipa-pipa yang terhubung serta sistem kontrol yang diperlukan untuk operasi yang efisien.

2. Generator *ice slurry*

Generator *ice slurry* merupakan mesin yang menghasilkan campuran suspensi halus kristal es dan larutan, dengan perpindahan panas tinggi, tanpa penggumpalan pada permukaan wadahnya. Pada tipe ini, refrigeran mengalami evaporasi di dalam tabung ganda, di mana bagian dalamnya berfungsi sebagai tempat aliran air atau bahan baku *ice slurry*. *Ice slurry* terbentuk di dinding dalam tabung dan dilepaskan oleh *scraper* yang berputar, kemudian jatuh ke dalam suspensi larutan. Pembentukan bubuk es melalui tiga fase dasar: kejenuhan larutan, nukleasi, dan pertumbuhan kristal. Kejenuhan terjadi karena adanya perbedaan potensial kimia antara larutan dan kristal es, yang dapat diciptakan dengan mendinginkan larutan atau mengubah tekanan. Nukleasi terjadi ketika inti awal terbentuk dari molekul-molekul larutan. Pertumbuhan kristal terjadi

ketika molekul - molekul terlarut ditambahkan ke inti, yang melibatkan difusi molekul, akumulasi molekul di sekitar permukaan, dan perpindahan panas dari kristal ke dalam larutan [9].

3. Motor Listrik

Motor Listrik adalah mesin gaya gerak listrik dan merupakan perangkat elektromagnetik dari energi listrik diubah energi mekanik. Perubahan ini dapat mengubah energi listrik menjadi magnet yang disebut *electromagnet*. Seperti yang kita ketahui, kutub magnet yang saling tolak, dan kutub yang berbeda akan saling Tarik.

Penting juga untuk disebutkan bahwa dalam beberapa aplikasi, seperti sistem refrigerasi, motor listrik dapat digunakan untuk memindahkan *ice slurry*. *Ice slurry* merupakan campuran antara air dan butiran es, yang memiliki kegunaan dalam pengaturan suhu pada sistem pendinginan. Dalam konteks ini, motor listrik dapat digunakan untuk memutar kompresor atau pompa yang diperlukan untuk mengalirkan dan mengontrol pergerakan *ice slurry* tersebut, membantu dalam proses pendinginan.

4. Gear Box

Gear Box atau transmisi pada mesin *ice slurry* merupakan komponen yang sangat penting. Fungsinya adalah sebagai sistem penggerak dan pemindah tenaga. *Gear Box* bertugas untuk mentransfer dan dapat diubah tenaga dari motor meknik agar dapat memutar *spindle* mesin *ice slurry* atau melakukan gerakan *feeding* pada proses pembentukan bubuk es. Selain itu, *Gear Box* juga bertanggung jawab dalam menurunkan kecepatan gerakan dan torsi, selain itu mengubah arah putaran agar mesin *ice slurry* dapat bergerak maju dan mundur sesuai dengan kebutuhan proses produksi.

5. Pipa Kapiler

Bagian dari sistem ekspansi yang berfungsi sebagai saluran untuk refrigeran. Pipa ini memiliki diameter yang lebih kecil daripada pipa

kondenser, yang dapat penurunan tekanan karena pengecilan aliran. Akibatnya gesekan dan mempercepat aliran refrigeran pada pipa kapiler. Proses ekspansi secara ideal terjadi secara isoentalpi, yang berarti tidak ada perubahan dalam entalpi sistem saat refrigeran melewati pipa kapiler.

2.5 Pembentukan Ice slurry

Pembentukan bubuk es pada mesin *ice slurry* melibatkan beberapa tahapan yang memungkinkan pembentukan suspensi homogen dari partikel-partikel es kecil dalam cairan pembawa. Proses ini dimulai dengan pembentukan es dalam bentuk partikel-partikel kecil menggunakan mesin pembuat es. Es yang dihasilkan kemudian dihancurkan menjadi butiran-butiran kecil melalui mesin penghancur es. Selanjutnya, butiran-butiran es ini dicampur dengan cairan pembawa, seperti air laut, dalam proporsi yang sesuai untuk membentuk suspensi bubuk es yang homogen. Penting untuk menjaga suhu cairan pembawa tetap rendah selama proses ini agar partikel es tidak mencair, yang bisa dilakukan dengan menggunakan sistem pendingin. Selain itu, pengontrolan konsistensi bubuk es diperlukan untuk memastikan proporsi dan ukuran partikel es sesuai dengan karakteristik yang diinginkan [10].

2.6 Air Laut Pada Sistem *Ice Slurry*

Ice slurry adalah campuran air dan es yang dipakai pada banyak sekali pelaksanaan, misalnya pendinginan pada industri kuliner atau proses industri. Untuk menaikkan kualitas es dalam bubuk es, perlu dilakukan penambahan pelarut lantaran bisa menurunkan titik beku air. Air laut, menggunakan salinitas & ion-ionnya misalnya natrium & klorida, sangat ideal buat menciptakan es batu lantaran bisa menjaga adonan cairan dalam suhu pada bawah 0°C, titik beku air murni. Proses ini dianggap pengurangan titik beku, dimana penambahan zat terlarut bisa menurunkan titik beku larutan, sehingga lebih efektif buat dipakai pada bubuk es. Larutan menggunakan berat molekul rendah lebih disukai lantaran cenderung

menurunkan titik beku larutan menggunakan lebih efektif, menjadikannya pilihan yg baik buat pelaksanaan pembentukan es[11].

2.7 Sistem Refrigerasi

Sistem pendingin pembuat es merupakan bagian yang sangat penting dalam produksi dan penggunaan bubuk es, yaitu campuran air dan partikel es kecil. Dalam pembahasan kali ini kami akan menjelaskan secara detail cara kerja sistem refrigerasi dalam konteks mesin es lumpur, termasuk prinsip pengoperasian, komponen utama, manfaat, aplikasi, dan tantangan terkait mengenai hal berikut: Prinsip Pengoperasian Sistem refrigerasi pada mesin *Ice Slurry*. Sistem refrigerasi pada mesin *ice slurry* mengikuti prinsip dasar sistem refrigerasi pada umumnya, melibatkan siklus pendinginan untuk mengubah fase refrigeran dari gas menjadi cair dan sebaliknya. Namun, dalam konteks *ice slurry*, terdapat beberapa perbedaan penting dalam penerapan dan penggunaannya [1].

Sistem ini dimulai dengan kompresor yang mengompresi zat pendingin untuk meningkatkan tekanan dan suhunya. Refrigeran bertekanan tinggi dan bersuhu tinggi kemudian dialirkan ke kondensor, di mana panasnya dilepaskan ke lingkungan dan refrigeran berubah menjadi cair. Cairan refrigeran kemudian melewati katup ekspansi yang menurunkan tekanan dan suhu, sehingga refrigeran masuk ke evaporator pada tekanan dan suhu rendah. Di dalam evaporator, zat pendingin menyerap panas dari campuran air dan partikel es kecil (*ice slurry*), menyebabkan air membeku dan membentuk lebih banyak partikel es. Proses ini berulang secara terus menerus menjaga suhu *ice slurry* tetap rendah[12].

2.8 Kebutuhan pendingin

Diperlukan bahan pendingin yang dapat menyerap panas dari hasil tangkapan (ikan) sehingga suhu yang diinginkan dalam penelitian ini adalah 0°C dan suhu ini dapat bertahan sampai ikan terjual. Jumlah cairan pendingin sama dengan jumlah beban pendingin. Oleh karena itu, kemampuan pendingin untuk

menyerap panas dari produk mencakupi panas sensibel dan panas laten. Jumlah cairan pendingin yang dibutuhkan dihitung sebagai berikut [13] :

$$Q_{total} = Q_{sensibel} + Q_{laten}$$

$$Q_{sensibel} = m \times c_p \times \Delta T$$

Dimana :

m : Massa es (kg)

Cp : Kalor spesifik *ice slurry* diketahui sebesar 2,1 kJ/kg K

ΔT : Beda temperatur 26 K

Qlaten slurry ice diketahui sebesar 334 kJ/kg (Kumano et al. 2007)

2.8.1 Koefisien perpindahan panas (U)

Pada proses perpindahan panas, konduksi panas, konveksi dan radiasi tidak dapat terjadi secara bersamaan. Koefisien perpindahan panas keseluruhan pada pendingin datar seperti terlihat pada gambar dibawah ini, di satu sisi terdapat cairan panas A dan pas sisi lainnya didinginkan cairan B. Koefisien perpindahan panas keseluruhan dapat dihitung dengan cara menggunakan persamaan[13] :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{in}} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \dots + \frac{x_n}{k_n} + \frac{1}{h_{out}}}$$

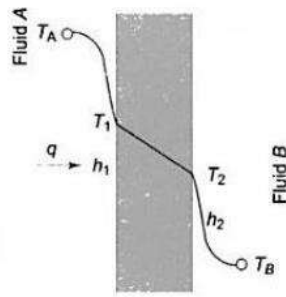
U = koefisien perpindahan panas (W/m² K)

h_{in} = koefisien konveksi dalam (W/m² K)

h_{out} = koefisien konveksi luar (W/m² K)

x = tebal setiap lapisan material (m)

k = konduktivitas *thermal* (W/mK)



Gambar 2. 1 Perpindahan kalor menyeluruh melalui dinding datar

2.9 Beban Pendingin

Hukum termodinamika dua yang dinyatakan besar energi atau kalor yang berpindah dari suatu ruangan ke ruangan yang lain. Berikut :

$$Q_{\text{Pendinginan}} = Q_{\text{transmisi}} + Q_{\text{radiasi}} + Q_{\text{infiltrasi}} + Q_{\text{produk}} + Q_{\text{tambahan}}$$

Dimana :

$Q_{\text{Pendinginan}}$ = Energi yang dibutuhkan untuk mendinginkan ruangan (W)

$Q_{\text{transmisi}}$ = Kerugian kalor dikarenakan perbedaan suhu didalam dan diluar dinding (W)

Q_{radiasi} = Kerugian kalor dikarenakan paparan sinar matahari ke dinding ruangan pendingin (W)

$Q_{\text{infiltrasi}}$ = Kerugian kalor dikarenakan udara masuk ke dalam palka (W)

Q_{Produk} = Kerugian kalor yang berasal dari muatan (W)

Q_{Tambahan} = Kerugian kalor tambahan yang berasal dari aktifitas manusia, peralatan, dsb (W)

2.9.1 Beberapa hitungan beban pendingin :

2.9.1.1 Beban transmisi ($Q_{\text{transmisi}}$)

Beban termal disebabkan oleh perpindahan panas melalui dinding palka yang terbuat dari isolasi. Beban ini mempengaruhi koefisien perpindahan panas dan luas permukaan dinding. Perhitungan beban penggerak berdasarkan standar ISO 7547 [13].

	$\Delta T, K$ Summer	Winter
Dek melawan tank dilengkapi dengan pemanas	43	
Dek dengan sekat melawan ruang ketel	28	17
Dek dan sekat dengan ruangan mesin dan dapur tanpa ac	18	
Dek dan sekat terhadap tangka non-pemanas, ruang kargo dan yang setara	13	42
Dek dan sekat terhadap cucian	11	17
Dek dan sekat terhadap ruangan sanitasi umum	6	0
Dek dan sekat terhadap ruang sanitasi pribadi		
a. Bagian permukaan luar yang terbuka	2	0
b. Tidak terkena	1	0
Dengan bagaimanapun dari mesin / boiler	6	0
Sekat terhadap gang	2	5
Catatan : dipahami bahwa sistem pemanas disediakan diruangan sanitasi yang terbuka		

Tabel 2. 1 Perbedaan temperatur antara ruangan yang berdampingan

Sumber : (international Organization for Standardization 7547 2002)

$$Q_{\text{trans}} = \Delta T (k_v A_v)$$

Dimana :

Q_{trans} = Aliran panas melalui dinding (W)

k_v = Koefisien perpindahan panas (U) ($W/m^2 K$)

A = Luas permukaan dinding (m^2)

ΔT = Perbedaan suhu (K)

Perbedaan suhu (ΔT) diambil dari table factor perpindahan panas untuk dinding isolasi termasuk sejumlah bahan menggunakan persamaan.

2.9.1.2 Beban radiasi (Q_{radiasi})

Beban radiasi adalah perhitungan pada beban pendinginan disebabkan oleh permukaan dinding luar yang terkena sinar matahari. Perhitungan ini berdasarkan standar ISO. Dalam ISO-7547, perbedaan suhu sekitar ditentukan, ΔT berikut dan persamaan digunakan untuk menghitung beban radiasi :

$A_{Tr} = 12 \text{ K}$ untuk permukaan Cahaya vertikal;

$A_{Tr} = 29 \text{ K}$ untuk permukaan Cahaya vertikal;

$A_{Tr} = 16 \text{ K}$ untuk permukaan Cahaya vertikal;

$A_{Tr} = 32 \text{ K}$ untuk permukaan Cahaya vertikal;

$$Q_{\text{radiasi}} = A_v U \Delta T$$

Dimana :

Q_{radiasi} : beban panas yang dihasilkan matahari (W) *

A_v : luasan dinding ruangan pendingin terkena paparan matahari (m^2)

U : koefisien perpindahan panas ($\text{W}/\text{m}^2 \text{ K}$)

ΔT : perbedaan temperature (K)

2.9.1.3 Beban infiltrasi (Q_{inf})

$$Q_{\text{inf}} = V \times f \times \rho_{\text{ud}} \times c_{\text{ud}} \times \Delta T$$

Dimana :

$Q_{\text{infiltrasi}}$: panas infiltrasi (kW)

V : volume ruangan (m^3)

F : frekuensi pembukaan palka persatu kali operasi

ρ_{ud} : massa jenis udara (kg/m^3)

c_{ud} : kalor spesifik udara (kJ/kgK)

ΔT : beda temperature (K)

2.9.1.4 Beban produk (Q_{produk})

Beban produk adalah beban panas yang diciptakan produk yang Dimana beban panas tersebut dihasilkan oleh ikan yang ditangkap pada saat pembekuan selama penyimpanan. Output panas :

$$Q_{\text{produk}} = m \times c \times \Delta t$$

Dimana :

Q_{produk} = jumlah panas produk (kW)

m = massa produk (kg)

c = panas spesifik sebelum pembekuan (kJ/kg°C)

oleh karena itu , koefisien perpindahan panas dapat dihitung dengan persamaan.

