

Analisa Konsentrasi Larutan Garam dan Beban Pendinginan Pada Mesin Pembuat Es Balok Berbasis Energi Terbarukan dan Listrik PLN Dengan Sistem *Smart Microgrid*

Aldrin¹, Mietra Anggara²

¹Teknik Mesin, Universitas Teknologi Sumbawa, Sumbawa Besar, Indonesia

²Teknik Mesin, Universitas Teknologi Sumbawa, Sumbawa Besar, Indonesia

Email: aldrin@uts.ac.id*

ABSTRAK

Mesin pembuat es balok dibuat dalam rangka memenuhi kebutuhan nelayan, terutama di daerah terpencil yang bukan hanya terkendala oleh ketersediaan listrik yang kontinyu, akan tetapi juga terkendala oleh ketersediaan bahan bakar bensin maupun solar yang umum digunakan sebagai pembangkit listrik skala kecil. Sistem *smart microgrid* yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah sistem hibrida berbasis panel surya, *biobased diesel engine* yang berbahan bakar hayati baik minyak nabati maupun gasifikasi biomassa yang berasal dari tanaman lokal maupun sampah hayati dan listrik PLN. Perancangan dari penelitian ini dilakukan di Institut Teknologi Bandung dan implementasinya dilaksanakan di Kecamatan Karimunjawa, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. Rancangan sistem *smart microgrid* menggunakan panel surya berkapasitas 5 kWp, generator *biobased diesel engine* kapasitas 4 kW, *bi-directional inverter* kapasitas 5 kW, baterai 100 Ah/12 V berjumlah 16 buah dan listrik PLN 1400 W. Generator *biobased diesel engine* menggunakan bahan bakar minyak diesel B-20, minyak kelapa dan minyak nyamplung. Mesin pembuat es terdiri dari berbagai bagian seperti kompresor, kondensor, pipa kapiler, evaporator, pompa, tangki pendingin, cetakan es, *chain hoist*. Refrigeran yang digunakan dalam model prototipe ini adalah R-290. Larutan garam yang digunakan adalah campuran NaCl dan air. Pada tangki produksi es direncanakan menggunakan *baffle* untuk meningkatkan kinerja mesin pembuat es balok. Larutan garam NaCl 20% dapat digunakan dalam proses pembuatan es balok sedangkan larutan garam NaCl 15% tidak bisa digunakan karena terjadinya kekurangan konsentrasi garam yang menyebabkan terbentuknya bunga es di evaporator. Sistem *smart microgrid* pada pengujian siang hari mendung mampu menyuplai kebutuhan daya beban dari energi surya, baterai dan listrik PLN dengan efisiensi *inverter* 59,23%. Pada pengujian mesin pembuat es balok untuk satu siklus produksi es balok dengan kondisi awal larutan garam bertemperatur lingkungan didapatkan waktu produksi 52 jam sedangkan larutan garam bertemperatur rendah waktu produksi 20 – 21,5 jam. Mesin pembuat es balok mempunyai COP refrigerasi 1,66 – 2,59 dan COP sistem 1,05 - 1,57.

Kata kunci: *smart microgrid*, energi terbarukan, mesin refrigerasi, *baffle*, nelayan

Paper type Research paper

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia mempunyai lautan yang mencapai 2/3 dari keseluruhan luas wilayah sehingga potensi perikananannya merupakan salah satu yang terbesar di dunia. Namun mayoritas nelayan di Indonesia adalah nelayan tradisional yang menggunakan kapal kecil (dibawah 30 GT (*Gross Tonnage*)) yang teknologinya masih rendah. Ketiadaan akses terhadap es balok sebagai media pendingin untuk mengawetkan makanan maupun *cold storage* sebagai sarana dan prasarana penjaga kualitas hasil tangkapan juga membuat nelayan tidak bisa berlayar dan mendapat hasil yang maksimal (Astaman, 2008).

Wilayah Karimunjawa terletak pada 45 mil lepas pantai Kabupaten Jepara dan memiliki gugusan pulau yang totalnya berjumlah 27 pulau. Terdapat 5 pulau berpenghuni dengan 4 pulau di antaranya masuk ke dalam kawasan taman nasional Karimunjawa. Kecamatan Karimunjawa adalah salah satu kecamatan di Kabupaten Jepara yang berupa wilayah kepulauan dengan luas wilayah 71,20 km². Kecamatan ini terdiri dari 4 desa yaitu Desa Karimunjawa, Desa Kemojan, Desa Parang dan Desa Nyamuk dengan jumlah penduduk pada tahun 2013 sebanyak 9.016 jiwa (BPS Kabupaten Jepara, 2014)

Untuk mengatasi permasalahan teknologi pengolahan ikan bagi nelayan pemerintah memasukkan pembangunan *Integrated Cold Storage (ICS)* sebagai salah satu proyek strategis nasional dalam Perpres No.3 Tahun 2016 tentang

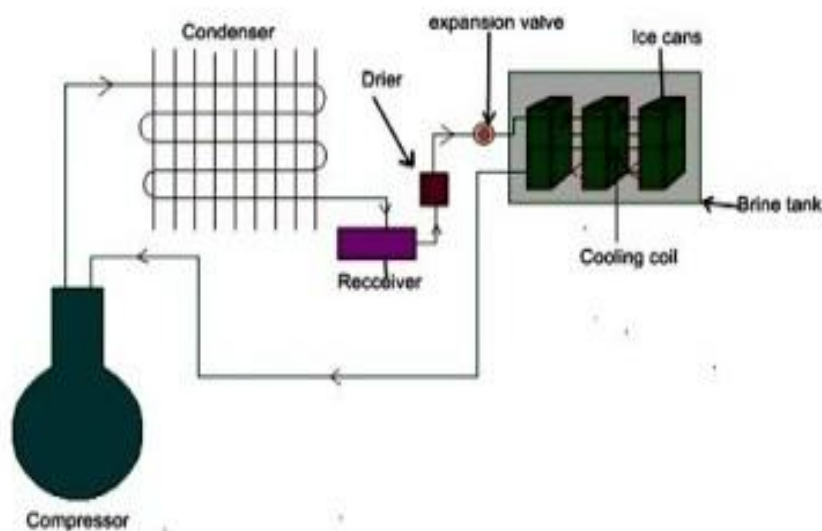
Percepatan Pelaksanaan Proyek Strategis Nasional. Selain itu, Ditjen Daya Saing Produk Kelautan dan Perikanan (DSPKP)-Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) juga memprioritaskan enam jenis sarana dan prasarana teknologi pengolahan hasil perikanan yang salah satunya adalah pabrik es bagi nelayan (KKP, 2020). Namun upaya-upaya tersebut menjadi tidak efektif dan optimal karena adanya berbagai kendala terutama ketersediaan listrik. Hal ini menjadi masalah utama untuk daerah terpencil, kepulauan, maupun daerah-daerah lain dengan pasokan listrik yang tidak stabil.

Selain itu, bagi nelayan dengan kapal skala kecil (dibawah 30 GT) terutama bagi nelayan tradisional, biaya penyediaan es balok sebagai media pendingin masih menjadi salah satu komponen biaya yang cukup besar (mencapai 30%). Biaya ini semakin besar ketika es balok tersebut harus dibeli di kota terdekat yang biasanya terletak cukup jauh dari lokasi para nelayan. Sebagai contoh, nelayan di Karimunjawa menghabiskan sekitar 20 liter bahan bakar tambahan hanya untuk membeli es balok dari kota Jepara (Indartono, 2017). Berdasarkan permasalahan tersebut, salah satu solusinya adalah penyediaan mesin pembuat es balok dengan basis energi terbarukan. Energi terbarukan yang digunakan adalah sel surya dan biodiesel.

Beberapa Penelitian Terkait

Novitasari, dkk (2016) membuat rancangan dan optimasi *smart grid* untuk sistem hibrida menggunakan panel surya dan *biobased diesel engine* berbahan bakar minyak kelapa dan minyak kelapa sawit. Dari eksperimen yang dilakukan terbukti bahwa penggunaan bahan bakar nabati tidak berpengaruh terhadap kinerja sistem secara keseluruhan dan diperoleh rata-rata efisiensi inverter sebesar 87%.

Yadav dan Singh (2011) merancang dan menganalisa sistem mesin pembuat es yang komponennya terdiri dari kompresor, kondensor, pipa kapiler, evaporator, cetakan es dan tangki pendingin. Rancangan sistemnya disusun seperti digambarkan pada Gambar II.1. Refrigeran yang digunakan adalah R-134a atau dikenal dengan nama *Tetrafluoroethan* ($\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$). Larutan garam yang dipakai adalah campuran NaCl dan air. Nilai COP dan kapasitas pendinginan aktual yang diperoleh dari pengujian adalah 3,31 dan 0,56 TR.



Gambar 1. Sistem mesin pembuat es (Yadav dan Singh, 2011).

Larutan garam (Brine)

Larutan garam digunakan sebagai pendingin sekunder karena titik bekunya umumnya lebih rendah dibandingkan pendingin primer. Hal ini menjadikannya sesuai untuk banyak aplikasi pada refrigeran temperatur rendah yang membutuhkan pendingin cair. Titik beku larutan garam berubah sesuai dengan konsentrasi garam dalam larutan. Titik beku terendah disebut *eutectic temperature*.

Sifat-sifat fisika larutan garam yang penting dalam kinerja dan kebutuhan energi yaitu :

1. Kalor spesifik. Suatu kalor spesifik yang tinggi diperlukan karena suatu laju aliran yang lebih rendah dari larutan garam dibutuhkan untuk memindahkan sejumlah kalor yang diberikan. Hal ini mengurangi daya pemompaan dan ukuran alat.
2. Konduktivitas termal. Konduktivitas termal yang tinggi meningkatkan laju perpindahan kalor.
3. Viskositas. Viskositas yang rendah berarti gesekan rendah sehingga daya pemompaan rendah. Viskositas rendah juga meningkatkan laju perpindahan kalor.
4. Massa jenis. Massa jenis yang tinggi meningkatkan laju perpindahan kalor namun juga meningkatkan daya pemompaan.

METODE PENELITIAN

Pengujian Mesin Pembuat Es Balok

Pengujian mesin es balok dilakukan untuk mendapatkan data-data yang akan dianalisa untuk mengetahui kinerja mesin es balok.

Jenis Pengujian Mesin Pembuat Es Balok

Pengujian mesin pembuat es balok ada dua bagian yaitu :

1. Pengujian berdasarkan konsentrasi garam 15% dan 20%.
2. Pengujian berdasarkan temperatur awal larutan garam pada temperatur *ambient*, temperatur rendah tanpa menggunakan *baffle*, temperatur rendah dengan menggunakan *baffle* dengan konsentrasi garam 20%.

Tujuan Pengujian Mesin Pembuat Es Balok

Tujuan dari pengujian mesin pembuat es balok yaitu :

1. Menentukan kinerja mesin es
Data yang akan diambil adalah temperatur sisi hisap kompresor, temperatur evaporator, temperatur kondensor, temperatur sisi keluar kompresor, tekanan sisi keluar dan tekanan sisi hisap, temperatur media yang akan didinginkan, tegangan dan arus listrik.
2. Menentukan larutan pendingin
Data yang diambil adalah jenis larutan, kinerja dan temperatur larutan
3. Menentukan waktu pembuatan es dan kapasitas mesin es
Data yang akan diambil adalah waktu pematangan es balok dan berat es balok yang dihasilkan, temperatur es
4. Menentukan desain tangki mesin es, pengujian dilakukan dengan tangki es memakai *baffle* dan tanpa *baffle*
Data yang akan diambil adalah waktu pematangan es balok, temperatur es balok

Tujuan Pengujian Mesin Pembuat Es Balok

Tujuan dari pengujian mesin pembuat es balok yaitu :

1. Menentukan kinerja mesin es
Data yang akan diambil adalah temperatur sisi hisap kompresor, temperatur evaporator, temperatur kondensor, temperatur sisi keluar kompresor, tekanan sisi keluar dan tekanan sisi hisap, temperatur media yang akan didinginkan, tegangan dan arus listrik.
2. Menentukan larutan pendingin
Data yang diambil adalah jenis larutan, kinerja dan temperatur larutan
3. Menentukan waktu pembuatan es dan kapasitas mesin es
Data yang akan diambil adalah waktu pematangan es balok dan berat es balok yang dihasilkan, temperatur es
4. Menentukan desain tangki mesin es, pengujian dilakukan dengan tangki es memakai *baffle* dan tanpa *baffle*
Data yang akan diambil adalah waktu pematangan es balok, temperatur es balok

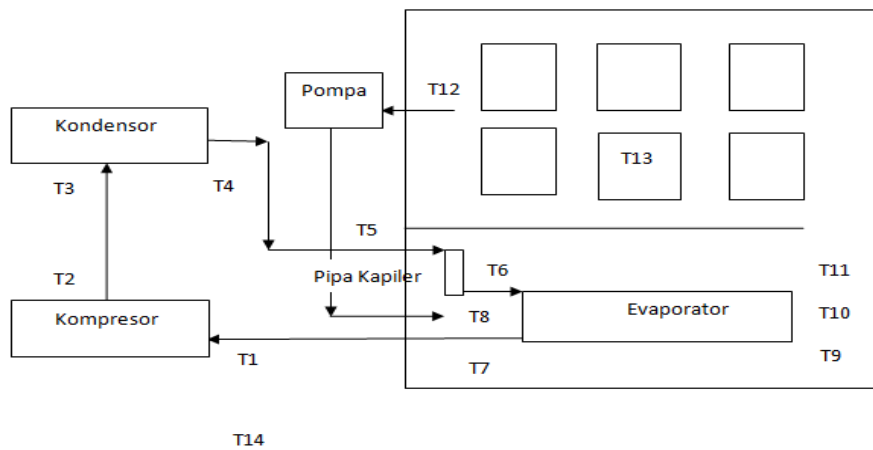
Alat dan Bahan Pengujian Mesin Es Balok

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut:

1. Larutan NaCl 20%. NaCl sebanyak 250 kg dicampurkan dengan air tawar 1 m³.
2. Refrigeran Hidrokarbon R-290 (Propana) (MC-22).
3. Baume Meter : 0 – 35% (1000 kg/m³ - 1350 kg/m³)
4. Termokopel tipe K
5. Digital temperatur indicator Thermocouple Thermometer 4 Thermocouple Input Temperature range : - 200°C - 1372°C (-328°F - 2501°F)
6. Omega Data Loggers.
7. Clamp Meter DC Voltage: Range 1000V Resolution 1V Accuracy : $\pm (1.0\% \text{ of rdg} + 5D)$
8. Baffle vertikal 1.150 x 400 mm, 2 buah, bahan plat baja 10 mm.

Skema Pengujian Mesin Pembuat Es Balok

Data-data temperatur pada mesin refrigerasi dan tangki pendingin diperoleh dengan menggunakan digital thermometer dan termokopel. Pada mesin refrigerasi, temperatur yang akan diambil datanya adalah temperatur refrigeran. Karena kesulitan untuk menempatkan termokopel ke dalam pipa maka termokopel diletakan pada bagian luar pipa. Pada tangki pendingin, temperatur yang akan diambil datanya adalah temperatur larutan garam dan air. Posisi termokopel-termokopel dapat dilihat pada Gambar III.11.

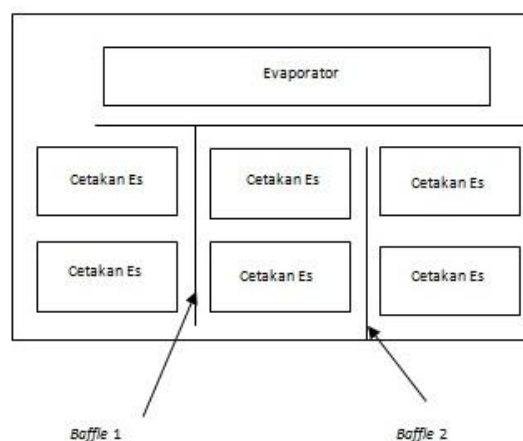


Gambar 2. Skema pengujian mesin pembuat es

Keterangan :

- T1 : Temperatur bagian luar pipa masuk kompresor
- T2 : Temperatur bagian luar pipa keluar kompresor
- T3 : Temperatur bagian luar pipa masuk kondensor
- T4 : Temperatur bagian luar pipa keluar kondensor
- T5 : Temperatur bagian luar pipa masuk pipa kapiler
- T6 : Temperatur bagian luar pipa masuk evaporator
- T7 : Temperatur bagian luar pipa keluar evaporator
- T8 : Temperatur *brine* masuk evaporator
- T9 : Temperatur *brine* keluar evaporator bagian bawah
- T10 : Temperatur *brine* keluar evaporator bagian tengah
- T11 : Temperatur *brine* keluar evaporator bagian atas
- T12 : Temperatur *brine* masuk pompa
- T13 : Temperatur air dalam cetakan es
- T14 : Temperatur udara

Untuk pengujian yang menggunakan baffle, skema posisi baffle ditunjukkan pada Gambar III.12.



Gambar 3. Skema posisi baffle pada Pengujian 3

Pelaksanaan Pengujian Mesin Pembuat Es Balok

Pengujian mesin pembuat es balok dilakukan dalam beberapa tahap. Pada tahap pertama adalah pengujian mesin pembuat es balok berdasarkan konsentrasi garam 15 dan 20% dengan larutan garam bertemperatur *ambient*. Tahap kedua adalah pengujian berdasarkan temperatur awal larutan garam (*brine*) dengan konsentrasi garam 20%. Pengujian dilakukan di Kemujan, Kecamatan Karimunjawa, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah.

Pengujian Mesin Pembuat Es Balok Berdasarkan Konsentrasi Garam

Pengujian mesin pembuat es balok berdasarkan konsentrasi garam dilakukan dua kali yaitu pengujian untuk konsentrasi garam 15% dan 20% pada larutan garam bertemperatur ambient . Pengujian mesin pembuat es dengan konsentrasi garam 15% dilakukan pada tanggal 19 Mei 2018 dan pengujian mesin pembuat es dengan konsentrasi garam 20% dilakukan pada tanggal 25 Oktober 2019. Kedua pengujian dilakukan di Kemujan, Kecamatan Karimunjawa, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah.

Pengujian dengan konsentrasi garam 15%

Pengujian mesin pembuat es dengan konsentrasi garam 15% dilakukan pada tanggal 19 Mei 2018. Pembuatan larutan garam 15% adalah dengan mencampurkan 180 kg garam dapur dengan 1000 kg (1 m³) air. Temperatur awal larutan garam 27°C, temperatur awal air 27°C, Cetakan es 6 buah dengan kapasitas es 165,5 kg.

Pengujian dilakukan mulai jam 09.00 WIB. Setelah pengujian selama 19,5 jam, temperatur larutan garam -5°C dan temperatur air 4,6°C. Pada evaporator terjadi bunga es sehingga temperatur larutan tidak mengalami penurunan lagi. Hal ini menyebabkan temperatur air tetap dan masih dalam kondisi cair. Pembuatan es mengalami kegagalan. Pengujian ini menggunakan listrik bersumber dari kombinasi PV dan generator .

Pengujian dengan konsentrasi garam 20%

Pengujian mesin pembuat es dengan konsentrasi garam 20% dilakukan pada tanggal 25 Oktober 2019. Pembuatan larutan garam 20% adalah dengan mencampurkan 250 kg garam dapur dengan 1000 kg (1 m³) air. Temperatur awal larutan garam 28°C, temperatur awal air 29°C, Cetakan es 6 buah dengan total kapasitas es 165,5 kg. Pengujian ini menggunakan listrik bersumber dari kombinasi PV, generator dan listrik PLN.

Pengujian dilakukan mulai jam 09.35 WIB. Pengujian dilakukan selama 52 jam dengan terbentuknya es secara sempurna, temperatur akhir larutan garam -10,8°C dan temperatur akhir es -5,1°C.

Pengujian Mesin Pembuat Es Balok Berdasarkan Variasi Temperatur Awal Larutan Garam (*Brine*) Dengan Konsentrasi Garam 20%

Pengujian mesin pembuat es balok berdasarkan temperatur awal larutan garam (*brine*) dengan konsentrasi garam 20% dilakukan tiga kali pengujian yaitu larutan garam bertemperatur ambient, larutan garam bertemperatur rendah tanpa *baffle* dan larutan garam bertemperatur rendah dengan *baffle*. Pengujian ini menggunakan listrik bersumber dari kombinasi PV, generator dan listrik PLN.

Pengujian pada temperatur *ambient*

Pengujian dilakukan pada tanggal 25 Oktober 2019. Temperatur awal larutan garam 28°C, temperatur awal air 29°C dan cetakan es 6 buah dan kapasitas es 165,5 kg. Pengujian dilakukan mulai jam 09.35 WIB. Pengujian dilakukan selama 52 jam dengan produksi es 165,5 kg, temperatur akhir larutan garam -10,8°C dan temperatur akhir es -5,1°C. Pengujian ini menggunakan listrik bersumber dari kombinasi PV, generator dan listrik PLN.

Pengujian pada temperatur rendah, tanpa *baffle*

Pengujian dilakukan pada tanggal 27 Oktober 2019. Temperatur awal larutan garam 4,8°C, temperatur awal air 7°C dan cetakan es 6 buah dan kapasitas es 165,5 kg. Pengujian dilakukan mulai jam 15.45 WIB. Pengujian dilakukan selama 21,5 jam dengan produksi es 165,5 kg, temperatur akhir larutan garam -8°C dan temperatur akhir es -4,5°C. Pengujian ini menggunakan listrik bersumber dari kombinasi PV, generator dan listrik PLN.

Pengujian pada temperatur rendah, dengan *baffle*

Pengujian dilakukan pada tanggal 28 Oktober 2019. Temperatur awal larutan garam 5°C, temperatur awal air 7,5°C dan cetakan es 6 buah dan kapasitas es 165,5 kg. Pengujian dilakukan mulai jam 15.35 WIB. Pengujian dilakukan selama 52 jam dengan produksi es 165,5 kg, temperatur akhir larutan garam -7,5°C dan temperatur akhir es -4,2°C. Pengujian ini menggunakan listrik bersumber dari kombinasi PV dan listrik PLN.

PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Mesin Pembuat Es Balok Berdasarkan Konsentrasi Garam

Pengujian mesin pembuat es balok berdasarkan konsentrasi garam dalam larutan garam dilakukan untuk mengetahui karakteristik dan kinerja mesin pembuat es. Hasil pengujian tersebut dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian mesin pembuat es berdasarkan konsentrasi garam

	Konsentrasi garam	Konsentrasi garam
	15%	20%
Temperatur awal larutan garam (°C)	27	29,3
Temperatur akhir larutan garam (°C)	-5	-10,8
Temperatur awal air (°C)	27	29,3
Temperatur akhir es (°C)	4,6	-5,1
Jumlah cetakan es	6	6
Kapasitas es (kg)	-	165,6
Waktu (jam)	-	52

Temperatur larutan garam terendah pada Pengujian 1 yaitu -5°C. Terbentuknya bunga es pada evaporator seperti ditunjukkan pada Gambar IV.1 menghambat terjadinya penurunan temperatur larutan garam sehingga tidak bisa mendinginkan air di cetakan es. Hal ini menimbulkan gagalnya produksi es. Pada Pengujian 2 temperatur larutan garam terendah -10,8 °C dan terjadi produksi es sebesar 165,5 kg.

Kinerja Mesin Berdasarkan Beban Pendinginan

COP refrigerasi adalah pembagian kapasitas refrigerasi dengan energi kompresor. Kapasitas refrigerasi terdiri dari beban pendinginan pada cetakan es, beban pendinginan pada media pendingin (larutan garam), beban pendingin dari lingkungan, beban pendinginan pada dinding baja tangki larutan garam dan beban pendinginan pada dinding *stainless steel* cetakan es. Data-data dari perhitungan beban pendinginan dan COP refrigerasi pada tiga pengujian dirangkum dalam Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5.

Tabel 2. Hasil perhitungan beban pendinginan pada Pengujian 1

No.	Beban Pendinginan	Kalor (kJ)
1	Beban pendinginan pada cetakan es	77.365,000
2	Beban pendinginan pada media pendingin (larutan garam)	204.762,500
3	Beban pendinginan dari lingkungan	45.350,750
4	Beban pendinginan pada dinding baja tangki larutan garam	5.740,825
5	Beban pendinginan pada dinding <i>stainless steel</i> cetakan es	7.219, 870
	Total	340.438,945

Tabel 3. COP refrigerasi berdasarkan beban pendinginan pada Pengujian 1

Kapasitas refrigerasi (kJ)	340.438,945
Energi kompresor (kJ)	205.288,200
COP	1,66

Tabel 4. Hasil perhitungan beban pendinginan pada Pengujian 2

No.	Beban Pendinginan	Kalor (kJ)
1	Beban pendinginan pada cetakan es	61.962.550
2	Beban pendinginan pada media pendingin (larutan garam)	65.360,600
3	Beban pendinginan dari lingkungan	17.463,300
4	Beban pendinginan pada dinding baja tangki larutan garam	1.832,500
5	Beban pendinginan pada dinding <i>stainless steel</i> cetakan es	2.304,600
	Total	148.923,550

Tabel 5. Hasil perhitungan beban pendinginan pada Pengujian 3

No.	Beban Pendinginan	Kalor (kJ)
1	Beban pendinginan pada cetakan es	61.962.550
2	Beban pendinginan pada media pendingin (larutan garam)	63.828,710
3	Beban pendinginan dari lingkungan	16.031,592
4	Beban pendinginan pada dinding baja tangki larutan garam	5.740,825

5	Beban pendinginan pada dinding <i>stainless steel</i> cetakan es	2.250,583
	Total	145.862,969

Tabel 6. COP refrigerasi berdasarkan beban pendinginan Pengujian 2 dan 3

	Tanpa <i>Baffle</i>	Dengan <i>Baffle</i>
Kapasitas Refrigerasi (kJ)	148.923,550	145.862,969
Energi kompresor (kJ)	81.626,262	79.723,929
COP	1,82	1,83

COP refrigerasi pada pengujian 1 nilainya lebih rendah dari pengujian 2 dan 3. COP refrigerasi pada pengujian 3 lebih besar dibandingkan dengan pengujian 2 karena penggunaan *baffle* menyebabkan penurunan kapasitas refrigerasi dan energi kompresor.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Larutan garam (*brine*) NaCl konsentrasi 20% dapat digunakan tanpa mengalami kendala terbentuknya bunga es pada evaporator. Kurangnya konsentrasi larutan garam akan menyebabkan terbentuknya bunga es pada evaporator walaupun evaporator terendam larutan garam sehingga refrigeran tidak dapat mendinginkan larutan garam.
2. Penggunaan *baffle* dapat mempercepat produksi es dari 21,5 jam menjadi 20 jam, meningkatkan nilai COP refrigerasi dari 1,82 menjadi 1,83 .

REFERENSI

- [1] Amen, Ahmaadul. (2006). Refrigeration and Air Conditioning. PHI Learning Private Limited, Delhi
- [2] ASHRAE (2001). ASHRAE Handbook-Fundamentals, ASHRAE 2001
- [3] Astaman, Made. (2008). Penanganan dan Pengolahan Hasil Perikanan. *Modul Universitas Terbuka*. Jakarta
- [4] BPS Kabupaten Jepara. (2017). *Kabupaten Jepara dalam Angka 2017*. Laporan Tahunan BPS Kabupaten Jepara Tahun 2017.
- [5] Indartono, Y.S., R. Budiarto, I.K. Reksowardojo, dan U. Juniarti. (2017). Laporan Akhir Penelitian Unggulan Strategis Nasional: Smart Microgrid Berbasis Energi Terbarukan. Bandung
- [6] Novitasari, D. (2016). Perancangan dan optimasi sistem smart grid berbasis energi terbarukan di Pulau Nyamuk, Kecamatan Karimunjawa, Jawa Tengah. Tesis Magister. Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung
- [7] Pita, Edward G. (1984). Refrigeration Principles and Systems. New York : John Wiley & Sons.
- [8] Shrivastava, Amey P., Choudhari Chandrakishor S. (2016). Evaluation of Refrigeration R290 as a Replacement to R22. International Journal of Innovative Research in Science and Engineering, Vol. 2, Issue 03.
- [9] Stoecker, W.F., J.W. Jones. (1982). Refrigeration and Air Conditioning. Second Edition. Mc. Graw-Hill, New York
- [10] Wibowo, H.S. (2018): Penggunaan Kalsium Klorida Sebagai Bahan Berubah Fasa Untuk Media Pendingin Ikan, Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung.
- [11] Yadav, J.P. dan Singh, Bharat Raj. (2011). A Study on Analysis and Fabrication of an Ice Plant Model. S-JPSET : ISSN 2229-7111, Vol. 2, Issue 1
- [12] 6 Sarana dan Prasarana Prioritas Teknologi Pengolahan Hasil Perikanan. Berita dari DSPKP. diperoleh dari situs internet: <http://www.kkp.go.id> diakses pada tanggal 10 Januari 2020
- [13] Mesin Pembuat Es Balok (*Ice Block Machine*) . Diperoleh dari situs: <http://www.tokomesin.com>, diakses pada tanggal 6 Agustus 2020