

Pengaruh Kecepatan Putar *Agitator* terhadap *Cooling Rate* dan *Reynolds Number* pada Mesin Pembuat Es Balok Menggunakan Media *Brine NaCl 20%*

Irfan Ramadhan^{1*}, Nia Nuraeni Suryaman², Arifin Santosa³, Aep Saepudin⁴

*Email corresponding author: irfan.8491@widyatama.ac.id

^{1,2}Mechanical Engineering, Universitas Widyatama Bandung, Jl. Cikutra No. 204A Bandung, 40126, West Java, Indonesia

^{3,4}National Research and Innovation Agency (BRIN) Jl. Sangkuriang, Dago, Bandung, 40135, West Java, Indonesia

Article history: Received: 23 Juni 2026 | Revised: 13 Juli 2026 | Accepted: 17 Juli 2026

Abstract. *This study aims to analyze the effect of agitator rotational speed on the Cooling Rate and flow characteristics of a 20% NaCl brine solution in a block ice machine. Experiments were conducted at agitator speeds of 450, 550, and 650 RPM. Temperature data were recorded using K-type thermocouples installed at the brine inlet, brine outlet, and ice can. Cooling performance was evaluated using the Cooling Rate, while flow characteristics were analyzed based on the Impeller Reynolds Number. The results showed that increasing agitator rotational speed was followed by an increase in the Cooling Rate from 0.037 °C/min at 450 RPM to 0.079 °C/min at 650 RPM and the Impeller Reynolds Number from 100,121 to 144,575. All experimental conditions were within the turbulent flow region. The increase in Reynolds Number was followed by an increase in the Cooling Rate, although the magnitude of the Cooling Rate increase differed between rotational speed ranges. In the 450–550 RPM range, the Cooling Rate increased by 97.30%, whereas in the 550–650 RPM range, the increase was 8.22%. Among the tested variations, 650 RPM produced the highest Cooling Rate and Impeller Reynolds Number and the shortest cooling time*

Keywords - Block ice machine; brine cooling; agitator; cooling rate; reynolds number.

Abstrak. *Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kecepatan putar agitator terhadap Cooling Rate dan karakteristik aliran media brine NaCl 20% pada mesin pembuat es balok. Pengujian dilakukan pada variasi putaran agitator 450, 550, dan 650 RPM. Data temperatur diperoleh menggunakan termokopel tipe-K yang ditempatkan pada titik brine inlet, brine outlet, dan ice can. Kinerja pendinginan dievaluasi menggunakan Cooling Rate, sedangkan karakteristik aliran dianalisis berdasarkan Impeller Reynolds Number. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan putar agitator diikuti oleh peningkatan Cooling Rate dari 0,037 °C/menit pada 450 RPM menjadi 0,079 °C/menit pada 650 RPM dan Impeller Reynolds Number dari 100,121 menjadi 144,575. Seluruh variasi pengujian berada pada kondisi aliran turbulen. Peningkatan Reynolds Number diikuti oleh peningkatan Cooling Rate, tetapi besarnya peningkatan Cooling Rate berbeda pada setiap rentang putaran. Pada rentang 450–550 RPM, Cooling Rate meningkat sebesar 97,30%, sedangkan pada rentang 550–650 RPM peningkatannya sebesar 8,22%. Dari variasi yang diuji, putaran 650 RPM menghasilkan Cooling Rate dan Impeller Reynolds Number tertinggi serta waktu pendinginan paling singkat.*

Kata Kunci - Mesin pembuat es balok; brine cooling; agitator; cooling rate; reynolds number.

PENDAHULUAN

Mesin es balok merupakan salah satu teknologi pendinginan yang banyak digunakan pada industri perikanan untuk mempertahankan kualitas dan kesegaran hasil tangkapan selama proses penyimpanan dan distribusi. Produksi es balok umumnya menggunakan sistem refrigerasi kompresi uap dengan metode pendinginan tidak langsung (*indirect cooling*) yang memanfaatkan refrigeran sekunder atau media *brine* sebagai fluida perantara dalam proses perpindahan kalor [1], [2]. Penggunaan media *brine* memberikan keuntungan berupa distribusi temperatur yang lebih merata, kestabilan temperatur operasi, serta kemampuan bekerja pada temperatur rendah tanpa mengalami pembekuan [1]. Karakteristik media *brine* juga dipengaruhi oleh konsentrasi larutan garam yang digunakan sebagai media pendingin [3].

Pada sistem *brine cooling*, proses pendinginan berlangsung melalui perpindahan kalor dari air di dalam *ice can* menuju media *brine* sebelum kalor tersebut diserap oleh refrigeran primer melalui *evaporator*. Efektivitas proses pendinginan sangat dipengaruhi oleh kemampuan media *brine* dalam menyerap dan mendistribusikan kalor secara merata di dalam tangki pendingin. Distribusi temperatur yang tidak merata dapat menyebabkan terbentuknya zona stagnan sehingga laju perpindahan panas menurun dan proses pendinginan berlangsung lebih lambat. Karakteristik perpindahan panas pada media *brine* diketahui memiliki pengaruh yang signifikan terhadap proses pembentukan es dan performa sistem pendinginan secara keseluruhan [4].

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan efektivitas perpindahan panas pada media *brine* adalah dengan meningkatkan sirkulasi fluida menggunakan *agitator*. Penggunaan *agitator* menghasilkan aliran paksa (*forced convection*) yang mampu mempercepat proses pencampuran fluida, memperbaiki distribusi temperatur, serta mengurangi terbentuknya zona stagnan di dalam tangki pendingin. Peningkatan intensitas pencampuran diketahui dapat mempercepat penurunan temperatur fluida dan meningkatkan performa perpindahan panas [5]. Selain itu, karakteristik aliran serta distribusi kecepatan dipengaruhi oleh konfigurasi impeller dan kondisi operasi pengadukan [6]. Berbagai penelitian juga menunjukkan bahwa peningkatan intensitas pencampuran pada tangki berpengaduk mampu meningkatkan performa perpindahan panas dan menghasilkan distribusi temperatur yang lebih seragam [7].

Karakteristik aliran pada sistem pengadukan umumnya dianalisis menggunakan bilangan Reynolds impeller (*Impeller Reynolds Number*) [8], [9]. Bilangan Reynolds digunakan untuk menggambarkan hubungan antara gaya inersia dan gaya viskos fluida serta menentukan karakteristik aliran yang terjadi di dalam tangki. Peningkatan kecepatan putar *agitator* akan meningkatkan nilai *Reynolds Number* sehingga intensitas sirkulasi dan pencampuran fluida menjadi lebih besar. Kondisi tersebut berpotensi meningkatkan laju perpindahan panas antara media *brine* dan *ice can* sehingga proses pendinginan dapat berlangsung lebih efektif.

Penelitian mengenai mesin es balok berbasis *brine cooling* telah dilakukan pada berbagai aspek. Perancangan mesin es balok menggunakan refrigeran sekunder telah dikaji pada penelitian sebelumnya [10], sedangkan penelitian lain menganalisis pengaruh konsentrasi refrigeran sekunder terhadap performa sistem pendinginan [11]. Karakteristik pembentukan es pada sistem *brine cooling* juga telah dianalisis menggunakan pendekatan numerik [12].

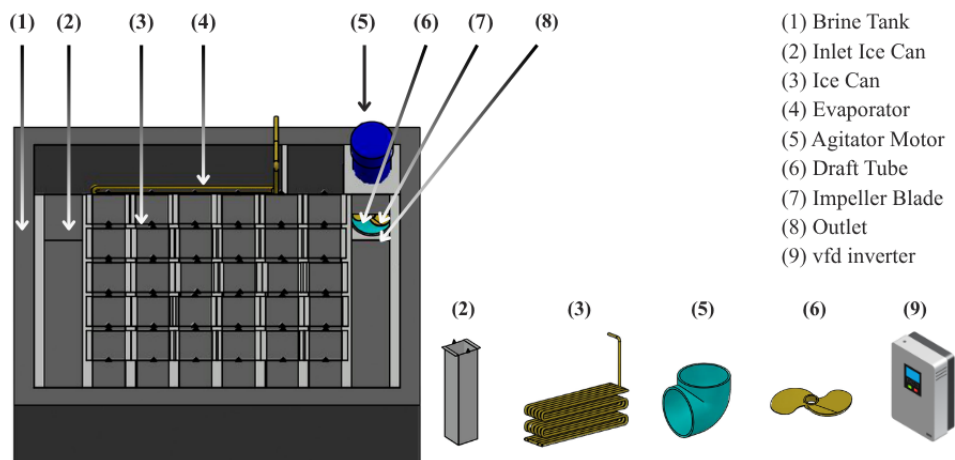
Di sisi lain, penelitian pada tangki berpengaduk menunjukkan bahwa peningkatan intensitas pencampuran dapat meningkatkan perpindahan panas [5]. Karakteristik aliran akibat putaran impeller juga telah dikaji berdasarkan pola sirkulasi dan distribusi kecepatan fluida pada kondisi turbulen [6]. Sedangkan pengaruh pencampuran terhadap distribusi temperatur telah dibahas pada penelitian lain [7].

Namun, penelitian terdahulu tersebut masih membahas performa pendinginan dan karakteristik aliran secara terpisah. Hubungan antara perubahan *Impeller Reynolds Number* akibat variasi kecepatan putar agitator dengan *Cooling Rate* pada mesin pembuat es balok menggunakan media *brine* NaCl 20% belum banyak dikaji. Analisis hubungan kedua parameter tersebut penting untuk menjelaskan pengaruh karakteristik aliran media *brine* terhadap laju pendinginan *ice can*. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kecepatan putar agitator terhadap *Impeller Reynolds Number* dan *Cooling Rate*, serta menganalisis hubungan antara kedua parameter tersebut pada mesin pembuat es balok menggunakan media *brine* NaCl 20%.

METODE

A. Sistem Pengujian

Penelitian dilakukan menggunakan mesin pembuat es balok dengan sistem pendinginan tidak langsung (*indirect cooling*) yang memanfaatkan larutan NaCl 20% sebagai refrigeran sekunder (*brine*). Sistem pengujian terdiri atas *brine inlet* (1), *ice can* (2), *evaporator* (3), motor *agitator* (4), *draft tube* (5), *impeller blade* (6), dan *brine outlet* (7). *Agitator* digunakan untuk menghasilkan sirkulasi fluida di dalam tangki *brine* sehingga distribusi temperatur menjadi lebih merata dan proses perpindahan panas dapat berlangsung lebih efektif.



Gambar 1. Sistem pengujian mesin pembuat es balok.

Tangki *brine* memiliki dimensi 130 cm × 98 cm × 54,5 cm dengan tinggi fluida operasi sebesar 30 cm selama proses pengujian. Variasi kecepatan putar *agitator* diatur menggunakan *Variable Frequency Drive (VFD)* sehingga diperoleh putaran pengujian sebesar 450 RPM, 550 RPM, dan 650 RPM.

Tabel 1. Spesifikasi alat dan bahan penelitian.

No	Komponen	Spesifikasi
1	<i>Brine Tank</i>	130 × 98 × 54,5 cm
2	<i>Inlet Ice can</i>	20 × 20 cm
3	<i>Ice can</i>	12 × 12 × 52 cm
4	<i>Evaporator</i>	Pipa tembaga Ø 1,5 cm, panjang 64 cm, tinggi 20 cm
5	<i>Agitator Motor</i>	YUEMA SA711-4
6	<i>Draft tube</i>	Ø 6 inch
7	<i>Impeller Blade</i>	2-blade; Ø 13,9 cm
8	<i>Outlet</i>	20 × 20 cm
9	<i>VFD Inverter</i>	FREQUEZ FZ280-0.75G-S2

Brine tank dan *ice can* dibuat dari material stainless steel dengan ketebalan 1,5 mm. Tangki diisolasi menggunakan kombinasi foam board dan PVC board 2 mm dengan ketebalan total 7 cm. Sirkulasi media *brine* dihasilkan oleh impeller tipe axial flow propeller dua bilah yang ditempatkan di dalam *draft tube* berdiameter 6 inch dan dioperasikan menggunakan motor induksi tiga fasa dengan pengaturan putaran melalui *Variable Frequency Drive (VFD)*.

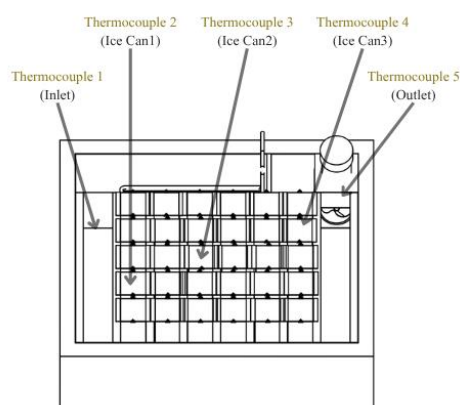
B. Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan mengoperasikan mesin pembuat es balok hingga sistem mencapai kondisi kerja yang stabil. Media pendingin berupa larutan NaCl 20% dimasukkan ke dalam tangki *brine*, kemudian sistem refrigerasi dijalankan bersamaan dengan *agitator* pada variasi kecepatan putar 450 RPM, 550 RPM, dan 650 RPM. Pengaturan kecepatan putar *agitator* dilakukan menggunakan *Variable Frequency Drive (VFD)* untuk menghasilkan variasi putaran sesuai kondisi pengujian.

Data temperatur direkam secara kontinu menggunakan sensor termokopel tipe-K yang terhubung dengan data logger VSCLAB 10 Channel. Pengambilan data dilakukan sejak sistem mulai beroperasi hingga temperatur media *brine* mencapai temperatur target sebesar -8°C. Data temperatur yang diperoleh kemudian digunakan untuk menganalisis karakteristik pendinginan pada setiap variasi kecepatan putar *agitator*.

C. Pengukuran Temperatur

Pengukuran temperatur dilakukan pada lima titik pengamatan menggunakan sensor termokopel tipe-K. Sensor ditempatkan pada *brine inlet* (TC1), *ice can 1* (TC2), *ice can 2* (TC3), *ice can 3* (TC4), dan *brine outlet* (TC5). Penempatan sensor pada *brine inlet* dan *brine outlet* bertujuan untuk memantau perubahan temperatur media *brine* selama proses sirkulasi dan perpindahan panas. Sementara itu, tiga sensor yang ditempatkan pada *ice can* digunakan untuk memperoleh temperatur rata-rata beban pendinginan sehingga kondisi pendinginan dapat direpresentasikan dengan lebih baik dibandingkan menggunakan satu titik pengukuran. Posisi penempatan sensor termokopel ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Posisi sensor termokopel.

Data temperatur yang diperoleh dari setiap titik pengukuran digunakan untuk mengevaluasi karakteristik pendinginan pada masing-masing variasi kecepatan putar *agitator*.

D. Analisis Data

a. Cooling Rate

Kinerja pendinginan dievaluasi menggunakan nilai *Cooling Rate* yang dihitung berdasarkan perubahan temperatur terhadap waktu sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (1) [13].

$$CR = \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (1)$$

dengan:

CR = *Cooling Rate* (°C/min);

ΔT = perubahan temperatur (°C); dan

Δt = selang waktu pengukuran (min).

Nilai *Cooling Rate* digunakan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam menurunkan temperatur *ice can* selama proses pendinginan. Semakin tinggi nilai *Cooling Rate* menunjukkan semakin cepat proses penurunan temperatur yang terjadi sehingga performa pendinginan sistem menjadi lebih baik.

b. Impeller Reynolds Number

Karakteristik aliran media *brine* dianalisis menggunakan *Impeller Reynolds Number* yang dihitung menggunakan Persamaan (2) [8].

$$Re = \frac{\rho \cdot N \cdot D^2}{\mu} \quad (2)$$

dengan:

Re = *Impeller Reynolds Number*;

ρ = densitas fluida (kg/m³);

N = kecepatan putar *agitator* (s⁻¹);

D = diameter impeller (m); dan

μ = viskositas dinamis fluida (Pa·s).

Impeller Reynolds Number digunakan untuk menggambarkan karakteristik aliran yang dihasilkan oleh *agitator* di dalam media *brine*. Peningkatan nilai *Reynolds Number* menunjukkan bahwa pengaruh gaya inersia semakin dominan dibandingkan gaya viskos sehingga intensitas sirkulasi dan pencampuran fluida meningkat. Parameter ini digunakan untuk menganalisis hubungan antara karakteristik aliran media *brine* dan performa pendinginan yang ditunjukkan oleh nilai *Cooling Rate*.

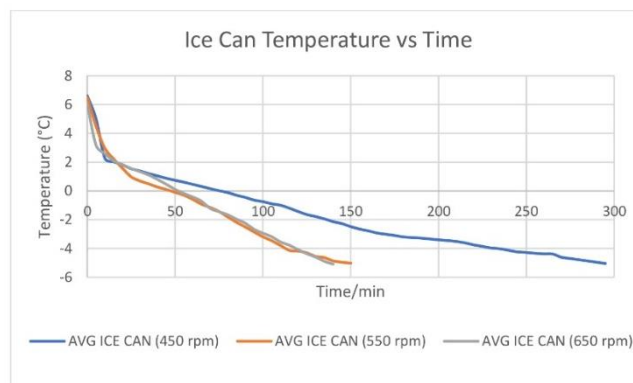
Nilai *Cooling Rate* dan *Impeller Reynolds Number* yang diperoleh pada setiap variasi putaran *agitator* dianalisis secara deskriptif kuantitatif melalui perbandingan nilai dan persentase perubahan antarvariasi. Analisis tersebut digunakan untuk mengevaluasi perubahan karakteristik aliran dan laju pendinginan akibat peningkatan kecepatan putar *agitator*. Hubungan antara *Impeller Reynolds Number* dan *Cooling Rate* dianalisis berdasarkan kecenderungan perubahan kedua parameter pada setiap variasi putaran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Profil Temperatur Sistem Pendinginan

1) Profil Temperatur *Ice can*

Profil temperatur *ice can* pada variasi kecepatan putar *agitator* 450 RPM, 550 RPM, dan 650 RPM ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Profil temperatur *ice can* pada variasi kecepatan putar *agitator*.

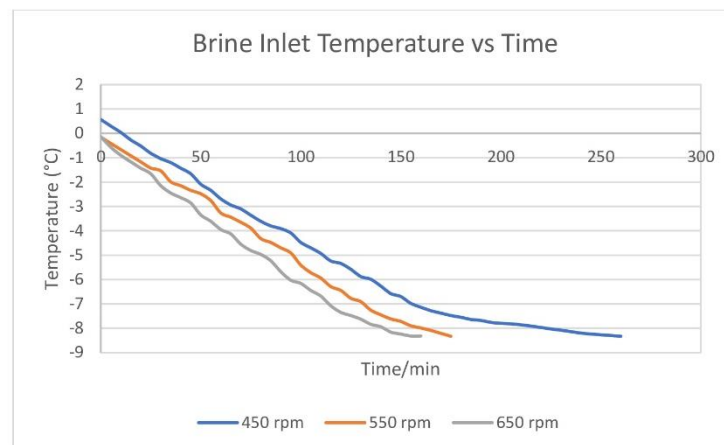
Berdasarkan Gambar 3, temperatur *ice can* mengalami penurunan secara bertahap pada seluruh variasi pengujian. Pada putaran 450 RPM, temperatur *ice can* turun dari 6,62°C menjadi -5,04°C dalam waktu 295 menit. Pada putaran 550 RPM, temperatur turun dari 6,50°C menjadi -5,02°C dalam waktu 150 menit, sedangkan pada putaran 650 RPM temperatur turun dari 6,05°C menjadi -5,08°C dalam waktu 140 menit. Dibandingkan dengan putaran 450 RPM, waktu pendinginan pada 650 RPM berkurang sekitar 52,5%.

Perbedaan waktu pendinginan tersebut terjadi karena peningkatan kecepatan putar agitator menghasilkan sirkulasi media *brine* yang lebih intensif di dalam tangki. Pergerakan media *brine* di sekitar permukaan *ice can* membantu membawa kalor yang diterima dari *ice can* menuju aliran media *brine* yang bersirkulasi. Pada putaran yang lebih rendah, sirkulasi media *brine* berlangsung lebih lambat sehingga proses pelepasan kalor dari *ice can* membutuhkan waktu lebih lama. Sebaliknya, peningkatan putaran agitator mempercepat sirkulasi media *brine* sehingga perpindahan kalor dari *ice can* menuju media pendingin berlangsung lebih efektif. Kondisi ini menyebabkan temperatur *ice can* pada 550 RPM dan 650 RPM menurun lebih cepat dibandingkan pada 450 RPM.

Hasil tersebut sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa penggunaan agitator dapat mempercepat penurunan temperatur fluida [14]. Peningkatan sirkulasi akibat proses pengadukan juga mendukung perpindahan panas pada fluida di dalam tangki berpengaduk [15].

2) Profil Temperatur *Brine Inlet*

Profil temperatur *brine inlet* pada variasi kecepatan putar *agitator* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Profil temperatur *brine inlet* pada variasi kecepatan putar *agitator*.

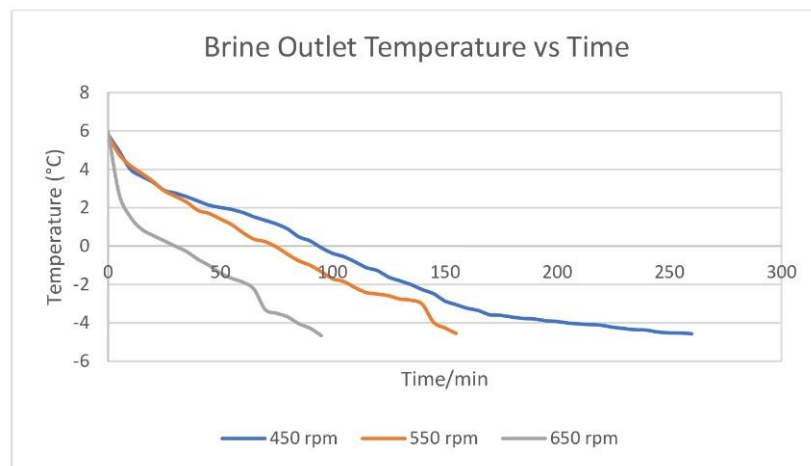
Berdasarkan Gambar 4, temperatur *brine inlet* mengalami penurunan selama proses pendinginan hingga mendekati temperatur operasi sistem. Temperatur pada titik ini menunjukkan kondisi media *brine* setelah melewati evaporator dan sebelum bersirkulasi menuju tangki pendingin. Oleh karena itu, temperatur *brine inlet* cenderung lebih rendah karena kalor dari media *brine* telah diserap oleh refrigeran selama melewati evaporator.

Perbedaan pola penurunan temperatur pada setiap variasi putaran dipengaruhi oleh sirkulasi media *brine* yang dihasilkan agitator. Peningkatan kecepatan putar agitator menyebabkan media *brine* bersirkulasi lebih intensif antara tangki pendingin dan evaporator. Kondisi tersebut mempercepat pergerakan media *brine* yang telah menyerap kalor dari *ice can* menuju evaporator, kemudian kembali ke tangki pada temperatur yang lebih rendah. Sirkulasi yang berlangsung secara terus-menerus menyebabkan penurunan temperatur media *brine* berlangsung lebih cepat pada putaran agitator yang lebih tinggi.

Peningkatan kecepatan putar *agitator* menghasilkan distribusi temperatur yang lebih stabil akibat proses pencampuran fluida yang lebih baik. Intensitas sirkulasi yang lebih tinggi membantu mempercepat penyebaran energi termal sehingga temperatur media *brine* menjadi lebih seragam [15].

3) Profil Temperatur *Brine Outlet*

Profil temperatur *brine outlet* pada variasi kecepatan putar *agitator* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Profil temperatur *brine outlet* pada variasi kecepatan putar *agitator*.

Berdasarkan Gambar 5, temperatur *brine outlet* cenderung lebih tinggi dibandingkan temperatur *brine inlet*. Perbedaan temperatur tersebut terjadi karena media *brine* menyerap kalor dari *ice can* selama bersirkulasi di dalam tangki pendingin sebelum kembali menuju evaporator.

Peningkatan kecepatan putar *agitator* menyebabkan sirkulasi media *brine* di sekitar *ice can* menjadi lebih intensif. Kondisi ini mempercepat pergerakan media *brine* yang telah menerima kalor dari permukaan *ice can* dan menggantikannya dengan media *brine* bertemperatur lebih rendah. Proses sirkulasi tersebut mendukung perpindahan kalor dari *ice can* menuju media *brine* secara terus-menerus sehingga penurunan temperatur berlangsung lebih cepat pada putaran agitator yang lebih tinggi.

Kecenderungan tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa Peningkatan intensitas pencampuran memengaruhi distribusi temperatur fluida di dalam tangki [7].

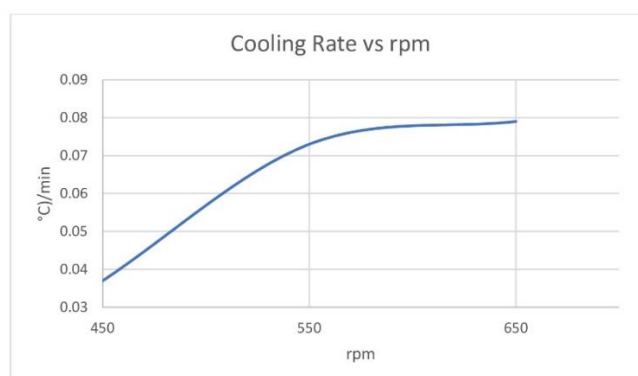
B. Analisis Cooling Rate

Nilai *Cooling Rate* yang diperoleh pada masing-masing variasi kecepatan putar *agitator* ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan *Cooling Rate*

Kecepatan Putar (RPM)	Cooling Rate (°C/menit)
450	0,037
550	0,073
650	0,079

Hubungan antara kecepatan putar *agitator* dan *Cooling Rate* ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh variasi kecepatan putar *agitator* terhadap *Cooling Rate*.

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 6, peningkatan kecepatan putar agitator diikuti oleh peningkatan nilai *Cooling Rate*. Pada rentang 450–550 RPM, nilai *Cooling Rate* meningkat sebesar 97,30%, sedangkan pada rentang 550–650

RPM peningkatannya sebesar 8,22%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan *Cooling Rate* paling besar terjadi pada perubahan putaran dari 450 RPM menjadi 550 RPM.

Peningkatan *Cooling Rate* terjadi karena putaran agitator yang lebih tinggi menghasilkan sirkulasi media *brine* yang lebih intensif di sekitar *ice can*. Media *brine* yang telah menerima kalor dari *ice can* bergerak mengikuti sirkulasi fluida dan digantikan oleh media *brine* dengan temperatur lebih rendah. Proses tersebut mendukung perpindahan kalor dari *ice can* menuju media *brine*, sehingga temperatur *ice can* menurun lebih cepat dan nilai *Cooling Rate* meningkat. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap performa perpindahan panas pada tangki berpengaduk [16].

Peningkatan *Cooling Rate* pada rentang 550–650 RPM lebih kecil dibandingkan rentang 450–550 RPM. Meskipun kecepatan putar *agitator* terus meningkat, kenaikan *Cooling Rate* yang dihasilkan mulai mengecil. Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan putaran agitator tetap mendukung proses pendinginan, tetapi besarnya peningkatan *Cooling Rate* berbeda pada setiap rentang putaran. Perbedaan tersebut selanjutnya dianalisis berdasarkan perubahan *Impeller Reynolds Number* untuk menjelaskan hubungan antara karakteristik aliran media *brine* dan laju pendinginan.

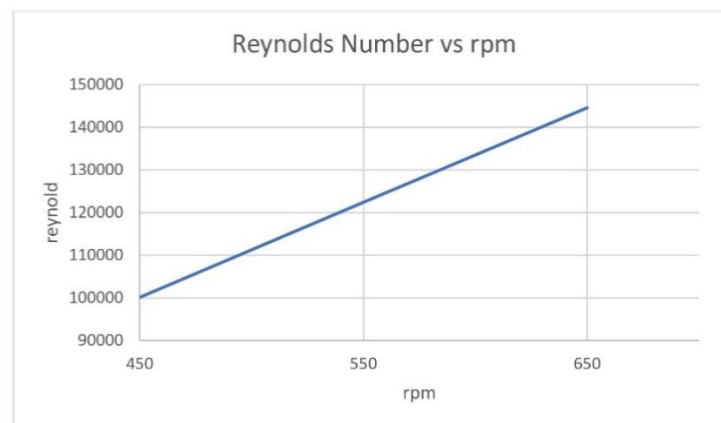
C. Analisis *Impeller Reynolds Number*

Nilai *Impeller Reynolds Number* pada masing-masing variasi kecepatan putar *agitator* ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan *Impeller Reynolds Number*

Kecepatan Putar (RPM)	<i>Reynolds Number</i>
450	100121
550	122415
650	144575

Hubungan antara kecepatan putar *agitator* dan *Impeller Reynolds Number* ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengaruh variasi kecepatan putar *agitator* terhadap *Reynolds Number*.

Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 7, peningkatan kecepatan putar *agitator* diikuti oleh peningkatan *Impeller Reynolds Number*. Pada rentang 450–550 RPM, nilai *Reynolds Number* meningkat sebesar 22,27%, sedangkan pada rentang 550–650 RPM meningkat sebesar 18,10%. Peningkatan tersebut terjadi karena kecepatan putar agitator merupakan salah satu parameter yang menentukan nilai *Impeller Reynolds Number*. Ketika putaran agitator meningkat, pengaruh gaya inersia fluida menjadi semakin dominan dibandingkan gaya viskos.

Seluruh variasi pengujian menghasilkan nilai *Reynolds Number* lebih besar dari 10^4 sehingga karakteristik aliran media *brine* berada pada kondisi turbulen [8]. Pada kondisi tersebut, peningkatan putaran agitator menghasilkan pergerakan fluida yang lebih intensif akibat aliran yang dibentuk oleh impeller. Kecepatan putar impeller diketahui memengaruhi pola aliran dan sirkulasi fluida di dalam tangki berpengaduk [17]. Kondisi ini menjelaskan mengapa peningkatan putaran agitator pada setiap variasi diikuti oleh peningkatan *Impeller Reynolds Number*.

Peningkatan *Reynolds Number* menunjukkan adanya perubahan karakteristik aliran media *brine* akibat peningkatan putaran agitator. Perubahan tersebut berkaitan dengan proses pendinginan karena media *brine* berperan dalam menerima dan membawa kalor dari *ice can* selama proses sirkulasi. Oleh karena itu, perubahan *Reynolds Number* perlu dianalisis bersama dengan perubahan *Cooling Rate* untuk mengetahui hubungan antara karakteristik aliran media *brine* dan laju pendinginan.

D. Hubungan *Impeller Reynolds Number* dan *Cooling Rate*

Hubungan antara *Impeller Reynolds Number* dan *Cooling Rate* dianalisis untuk mengetahui keterkaitan perubahan karakteristik aliran media *brine* dengan laju pendinginan. Hasil perhitungan kedua parameter pada setiap variasi kecepatan putar agitator ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Variasi kecepatan putar agitator

Kecepatan Putar (RPM)	Impeller Reynolds Number	Cooling Rate (°C/menit)
450	100.121	0,037
550	122.415	0,073
650	144.575	0,079

Berdasarkan Tabel 4, peningkatan *Impeller Reynolds Number* diikuti oleh peningkatan *Cooling Rate* pada seluruh variasi pengujian. Pada rentang 450–550 RPM, Reynolds Number meningkat sebesar 22,27% dan diikuti peningkatan *Cooling Rate* sebesar 97,30%. Sementara itu, pada rentang 550–650 RPM, Reynolds Number meningkat sebesar 18,10%, tetapi *Cooling Rate* hanya meningkat sebesar 8,22%. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa kenaikan Reynolds Number tetap diikuti oleh peningkatan laju pendinginan, tetapi besarnya peningkatan *Cooling Rate* berbeda pada setiap rentang putaran.

Peningkatan Reynolds Number menunjukkan semakin dominannya pengaruh gaya inersia terhadap gaya viskos pada aliran media *brine*. Kondisi tersebut menghasilkan pergerakan media *brine* yang lebih intensif sehingga media *brine* yang telah menerima kalor dari *ice can* dapat terus bergerak mengikuti sirkulasi fluida dan digantikan oleh media *brine* bertemperatur lebih rendah. Proses ini mendukung perpindahan kalor dari *ice can* menuju media *brine* dan menyebabkan laju penurunan temperatur meningkat. Hubungan antara karakteristik aliran dan perpindahan panas pada tangki berpengaduk juga telah dilaporkan pada penelitian sebelumnya [5].

Kenaikan *Cooling Rate* yang lebih kecil pada rentang 550–650 RPM menunjukkan bahwa peningkatan Reynolds Number tidak menghasilkan kenaikan laju pendinginan dengan besaran yang sama pada setiap variasi. Seluruh kondisi pengujian telah berada pada aliran turbulen sehingga peningkatan putaran agitator tetap meningkatkan Reynolds Number, tetapi tambahan peningkatan *Cooling Rate* mulai mengecil. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan karakteristik aliran media *brine* berkaitan dengan peningkatan *Cooling Rate*, dengan nilai tertinggi diperoleh pada 650 RPM.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan putar agitator dari 450 RPM hingga 650 RPM meningkatkan *Impeller Reynolds Number* dari 100.121 menjadi 144.575 dan *Cooling Rate* dari 0,037 °C/menit menjadi 0,079 °C/menit. Seluruh variasi pengujian menghasilkan Reynolds Number lebih besar dari 10^4 sehingga karakteristik aliran media *brine* berada pada kondisi turbulen. Peningkatan Reynolds Number diikuti oleh peningkatan *Cooling Rate*, yang menunjukkan bahwa perubahan karakteristik aliran media *brine* berkaitan dengan laju pendinginan *ice can*. Pada rentang 450–550 RPM, Reynolds Number meningkat sebesar 22,27% dan *Cooling Rate* meningkat sebesar 97,30%, sedangkan pada rentang 550–650 RPM peningkatan Reynolds Number sebesar 18,10% hanya diikuti peningkatan *Cooling Rate* sebesar 8,22%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan putaran agitator tetap mendukung proses pendinginan, tetapi kenaikan *Cooling Rate* mulai mengecil pada rentang putaran yang lebih tinggi. Dari variasi yang diuji, putaran 650 RPM menghasilkan *Cooling Rate* dan *Impeller Reynolds Number* tertinggi serta waktu pendinginan paling singkat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kelompok Riset Energi Surya Termal dan Energi Hidro (ESTE), Pusat Riset Konversi dan Konservasi Energi, BRIN Bandung KST Samaun Samadikun, melalui program Magang Riset Tugas Akhir S1, atas fasilitas penelitian, pendampingan, serta dukungan teknis selama pelaksanaan penelitian. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Mesin Universitas Widyatama atas dukungan akademik selama proses penelitian dan penyusunan artikel ini.

REFERENSI

- [1] A. setiawan Sunanto and A. Aziz, “Rancang Bangun Sistem Brine Cooling Untuk Penyimpanan Udang 5 Kg Menggunakan Secondary Refrigerant Jenis Ethylene Glycol,” *JTT (Jurnal Teknol. Ter.,* vol. 8, no. 1, p. 9, 2022, doi: 10.31884/jtt.v8i1.280.
- [2] A. Verino and L. Arda Rahardja, “Rancang Bangun Sistem Brine Cooling untuk Pendinginan Susu Kedelai

- dan Pemanfaatan Panas Kondenser untuk Pengeringan Biji Kopi,” *Pros. Ind. Res. Work. ...*, pp. 13–14, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/proceeding/article/view/4240%0Ahttps://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/proceeding/article/view/4240/2923>
- [3] Aldrin and M. Anggara, “Analisa Konsentrasi Larutan Garam dan Beban,” vol. 13, no. 3, pp. 7–13, 2022.
- [4] X. Yun *et al.*, “International Journal of Heat and Mass Transfer Ice formation in the subcooled brine environment,” *HEAT MASS Transf.*, vol. 95, pp. 198–205, 2016, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.12.003.
- [5] V. da Silva Rosa *et al.*, “Heat transfer and power consumption of Newtonian and non-Newtonian liquids in stirred tanks with vertical tube baffles,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 176, no. May, p. 115355, 2020, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115355.
- [6] R. Šulc *et al.*, “Local velocity scaling in an impeller discharge flow in T400 vessel agitated by tooth impeller in a fully turbulent region,” *EPJ Web Conf.*, vol. 180, no. 1, 2018, doi: 10.1051/epjconf/201817002102.
- [7] P. Bouphe *et al.*, “Mathematical Modeling Comparison for the Temperature Distribution Results in the Three Types of Blades Agricultural Waste Mixing Agitator for Forming Materials,” *Math. Model. Eng. Probl.*, vol. 11, no. 7, pp. 1709–1728, 2024, doi: 10.18280/mmep.110703.
- [8] F. Kars Jordan and P. Hiltunen, “Agitation Handbook,” pp. 1–90, 2007.
- [9] A. SHEVALADZE *et al.*, “Karakteristik Temperatur Tangki Pemanas dan Bilangan Reynolds Selama Aliran Sirkulasi Alam pada Untai Uji FASSIP-02,” *Pros. Semin. Nas. Energi*, pp. 27–35, 2021.
- [10] A. Giovanni, W. H. Mitrakusuma, B. Y. Prasetyo, and K. Kunci, “Rancang Bangun Ice Block Machine dengan Kapasitas 12 Kg Menggunakan Calcium Chloride sebagai Refrigeran Sekunder,” pp. 159–163, 2023.
- [11] A. R. Seftanda, T. P. Pramudantoro, and A. R. Lukitobudi, “Kaji Eksperimental Pengaruh Variasi Konsentrasi Kalsium Klorida sebagai Refrigeran Sekunder terhadap Performansi Sistem pada Mesin Es Balok,” *Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 14, no. 1, pp. 169–175, 2023, doi: 10.35313/irwns.v14i1.5380.
- [12] A. Fatahillah, T. B. Setiawan, and A. Sholihin, “Numerical analysis of ice freezing processes of block ice production in a brine tank factory using the finite volume method,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1832, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1832/1/012023.
- [13] T. Guswanto, “Penggunaan Pasco Capstone 14.1 untuk Menentukan Koefisien Konveksi Udara dengan Metode Pendinginan Air,” *J. EduMatSains*, vol. 1, no. 2, pp. 165–176, 2017.
- [14] M. Y. Yunus and F. Firman, “Pengaruh Agitator Terhadap Penurunan Temperatur Air Buangan Pada Waste Water Pit Sistem Pltu,” *Semin. Nas. Has. Penelit. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 2019, pp. 107–111, 2019.
- [15] T. Borowski *et al.*, “Heat transfer investigations in a liquid that is mixed by means of a multi-ribbon mixer,” *Polish J. Chem. Technol.*, vol. 23, no. 2, pp. 66–72, 2021, doi: 10.2478/pjct-2021-0019.
- [16] M. Mahir, A. El Maakoul, I. Khay, S. Saadeddine, and M. Bakhouya, “An Investigation of Heat Transfer Performance in an Agitated Vessel,” 2015.
- [17] D. H. Prajitno, D. R. Sholeh, and B. Fitriani, “Pengaruh Jumlah Blade Impeller dan Kecepatan Putar Impeller Terhadap Pola Aliran dan Homogenitas Fluida Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD),” *Semin. Nas. TrenD*, vol. 3, p. 48, 2023.

Halaman ini sengaja dikosongkan
(This page is intentionally left blank)