

BAB IV

SIMULASI

Simulasi merupakan kegiatan untuk memodelkan suatu sistem dengan suatu kondisi yang telah ditentukan dengan menggunakan bantuan komputer. Tujuan dari simulasi kali ini adalah untuk mengetahui karakteristik penyangga *ice can* jika diberi beban berupa air es, *ice ice can* dan berat penyangga itu sendiri, juga untuk mengetahui distribusi temperatur dan *solidifications* es jika jarak antara *ice can* dengan bak es diubah-ubah.

4.1 SIMULASI PENYANGGA CAN

Penyangga can merupakan komponen penting dalam *contenerized block ice plant*, ia berfungsi sebagai pemegang cetakan es (*ice can*) dengan air es berada didalamnya. Pemilihan material dan bentuk batang penyangga akan mempengaruhi kekuatan serta pola aliran yang terjadi dalam bak es. Penyangga can ini di desain agar mampu menahan beban-beban dari cetakan, air bahan baku, dan berat penyangga itu sendiri. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

- Beban dari es balok. Satu baris ada 8 es balok dengan massa 1 es balok sebesar 12,85 kg, sehingga beban dari es balok dalam 1 row adalah:

$$\begin{aligned}w_{es} &= n_{es} \times m_{es} \times g \\ &= 8 \times 12,85 \times 9,8 = 1007,215 N\end{aligned}$$

- Beban yang harus ditanggung dari 8 *ice can*, dengan massa *ice can* sebesar 9,22 kg adalah:

$$\begin{aligned}w_{can} &= n_{can} \times m_{can} \times g \\ &= 8 \times 9,22 \times 9,8 = 722,6 N\end{aligned}$$

- Beban dari penyangga *ice can* dengan massa 13,78 kg sebesar:

$$\begin{aligned}w_{penyangga} &= m_{peny} \times g \\ &= 13,78 \times 9,8 = 135,044 N\end{aligned}$$

- Sehingga beban yang harus ditanggung penyangga adalah sebesar 125,77 kg atau sebesar :

$$w_{beban} = w_{es} + w_{can} + w_{peny}$$

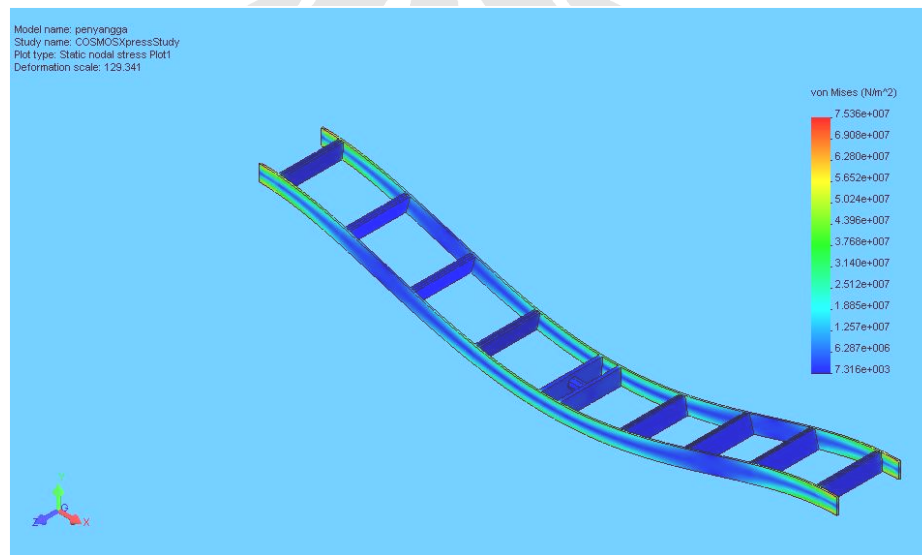
$$= 1007,215 + 722,6 + 135,044 = 1864,854 \text{ N}$$

4.1.1 Simulasi Kekuatan Penyangga *Can*

Pada simulasi ini, material yang digunakan penyangga adalah *carbonsteel*. Bagian bawah dari penyangga diberikan beban sebesar 1864,854 N dan bagian ujung sebagai penahan. Berikut adalah hasil simulasinya :

Name	Type	Min	Location	Max	Location
Plot1	VON: von Mises stress	7316.18 N/m ²	(750.76 mm, 25.0399 mm, 72.2747 mm)	7.53582e+007 N/m ²	(1648.43 mm, 0 mm, -13.3038 mm)

Gambar 20 Besar tegangan yang terjadi



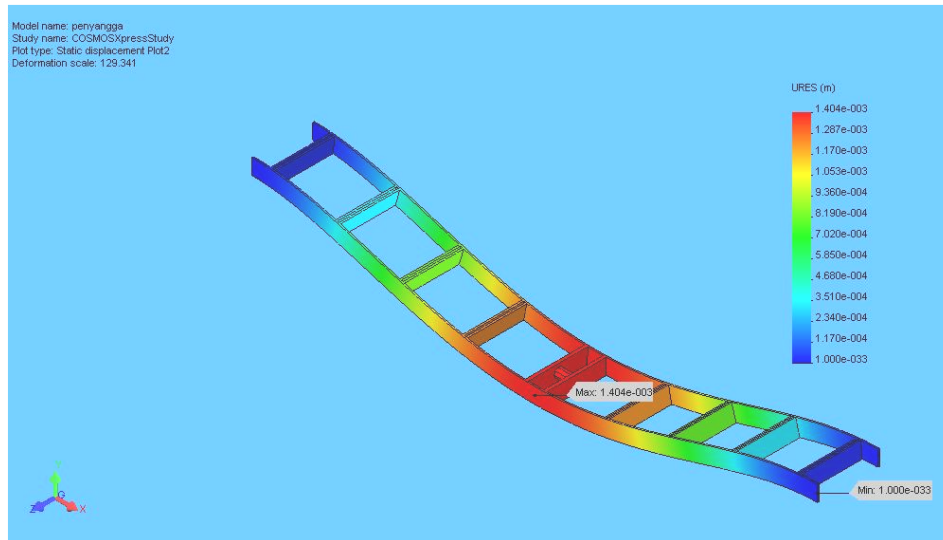
Gambar 21 Simulasi von Mises dari penyangga cetakan

Dari gambar diatas terlihat bahwa daerah kritis terjadi pada tengah penyangga pada daerah plat panjang dengan nilai $7,53 \times 10^7 \text{ N/m}^2$. *Yield Strength* dari penyangga tersebut adalah 2.482×10^8 . Karena nilai bebannya masih lebih kecil daripada *Yield Strength*-nya, maka secara simulasi kekuatan dari penyangga ini aman.

5.3.2 Simulasi Defleksi Penyangga *Can*

Name	Type	Min	Location	Max	Location
Plot2	URES: Resultant displacement	0 m	(-156.971 mm, 50 mm, -18.3038 mm)	0.00140404 m	(751.029 mm, 25 mm, 181.696 mm)

Gambar 22 Besar defleksi yang terjadi



Gambar 23 Simulasi defleksi dari penyangga cetakan

Dari hasil simulasi gambar diatas, dapat diketahui bahwa kemungkinan defleksi terbesar terjadi pada bagian ujung-ujung penyangga dengan nilai 1.4 mm. Namun penyangga ini tetap aman karena beban dari penyangga ini masih di bawah nilai *Yield Strength*-nya.

4.2 SIMULASI ALIRAN PADA BAK

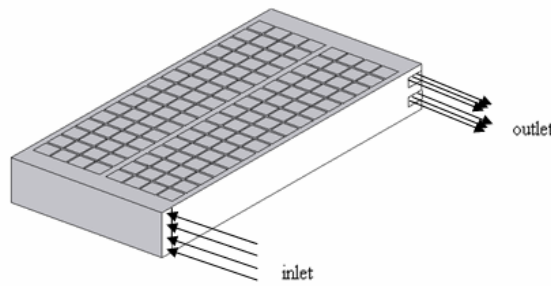
Simulasi aliran di bak bertujuan untuk mengetahui distribusi temperatur dan pola pergerakan aliran air garam (brine). Dengan memaksimalkan sistem aliran pada bak tersebut, maka akan meningkatkan kualitas aliran brine tersebut dan juga mempercepat proses pembekuannya. Simulasi CFD dengan menggunakan software Fluent Flowizard 1.0.8 yang kemudian diekspor ke Fluent 6.2.16.

Untuk itu simulasi dilakukan dengan tiga buah variasi yakni :

- Jarak 30 mm
Aliran brine masuk melalui inlet dan keluar pada dua buah lubang outlet , dengan jarak antara sisi bagian bawah *ice can* dengan bak adalah 30 mm.
- Jarak 50 mm
Aliran brine masuk melalui inlet dan keluar pada dua buah lubang outlet, dengan jarak antara sisi bagian bawah *ice can* dengan bak adalah 50 mm.
- Jarak 70 mm
Aliran brine masuk melalui inlet dan keluar pada dua buah lubang outlet, dengan jarak antara sisi bagian bawah *ice can* dengan bak adalah 70 mm.

Pada simulasi dua buah lubang keluar ini, aliran masuk kedalam sistem (bak) dianggap mengalir secara tegak lurus dengan kondisi aliran laminar serta ukuran dari *ice can* yang tetap untuk setiap variasi. Kecepatan aliran masuk air garam adalah 0.1 m/s. Demi kemudahan perhitungan, kecepatan aliran yang kita gunakan adalah aliran massa, aliran massa dari brine adalah :

$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{air garam}} &= V \times A \times \rho \\ \dot{m}_{\text{air garam}} &= 0.1 \frac{m}{s} \times 0.0705 m^2 \times 1185.7 \frac{kg}{m^3} \\ \dot{m}_{\text{air garam}} &= 8.37187 \frac{kg}{s}\end{aligned}$$

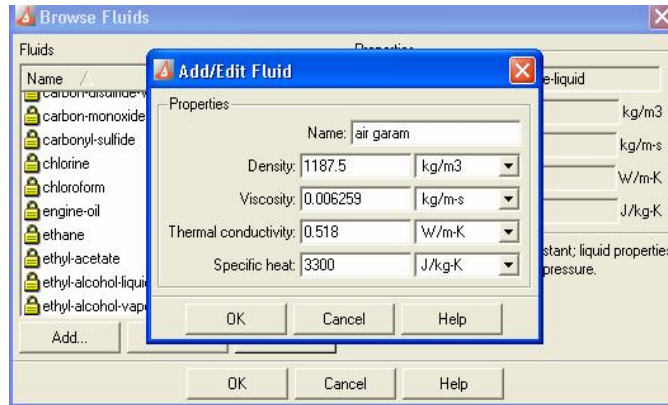


Gambar 24 Sketsa aliran masuk dan keluar pada dua lubang keluar

Sesuai dengan perhitungan sebelumnya, temperatur aliran masuk *brine* sebesar -11°C . Air garam keluar karena ditarik oleh agitator pada sisi outlet dengan kecepatan keluar sama dengan kecepatan masuk, yakni sebesar 8.37187 kg/s. Material yang digunakan untuk *ice can* diasumsikan menggunakan *steel* dengan ketebalan sebesar 3 mm. Karena database material pada Fluent 6.2.16 dan Flowizard 1.0.8 kurang lengkap, maka kita harus memasukkan sejumlah properties dari air garam yang digunakan (lihat gambar 26) dan dengan menganggap semua properties yang dimasukkan konstan terhadap perubahan temperatur. Untuk air es, kita menggunakan material *liquid-solid* karena hanya material ini yang dapat berubah fasanya ketika diubah temperaturnya. Properties dari *liquid-solid* tersebut merupakan gabungan dari properties dari air dan es. Cp dari *liquid-solid* menggunakan pendekatan *Piecewise-Polynomial*, untuk temperatur 200-273.15 K menggunakan Cp es dan untuk temperatur 273.15-373.15 menggunakan Cp air sebesar 3128. Rumus dari *Piecewise-Polynomial* :

$$T_{\min,1} < T < T_{\max,1} : \phi(T) = A_1 + A_2T + A_3T^2 + ..$$

$$T_{\min,2} < T < T_{\max,2} : \phi(T) = B_1 + B_2T + B_3T^2 + ..$$



Gambar 25 Penambahan properties fluida yang digunakan (NaCl 23%)

Heat flux yang diterima brine yang berasal dari permukaan atas :

$$Heatflux_{atas} = \frac{q_{atas}}{A_{atas}}$$

$$Heatflux_{atas} = \frac{723.2W}{9.04m^2}$$

$$Heatflux_{atas} = 80W/m^2$$

Heat flux yang diterima brine dari dinding dan permukaan bawah :

$$Heatflux_{dinding+bawah} = \frac{q_{dinding+bawah}}{A_{dinding+bawah}}$$

$$Heatflux_{dinding+bawah} = \frac{237.92W}{14.152m^2}$$

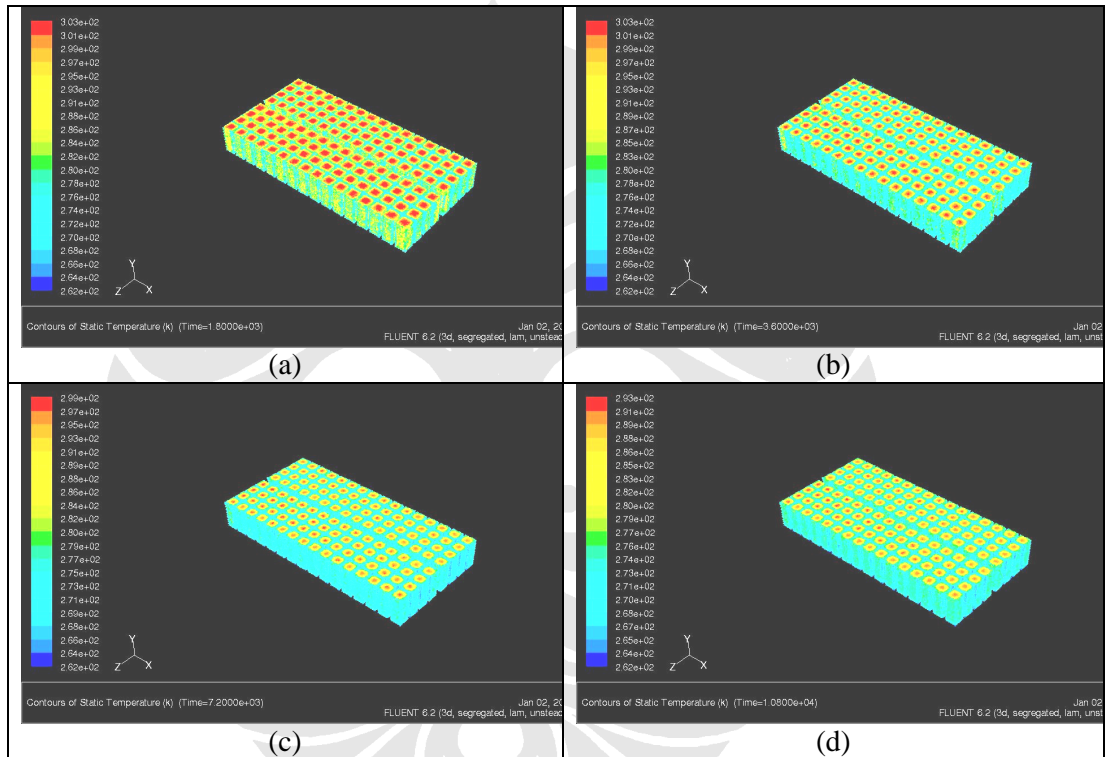
$$Heatflux_{dinding+bawah} = 16.8W/m^2$$

Dinding dan lantai diasumsikan menerima heatflux yang tetap yakni sebesar 16.8 W/m², begitu pula sisi bagian atas yang dianggap menerima heatflux tetap sebesar 80 W/m².

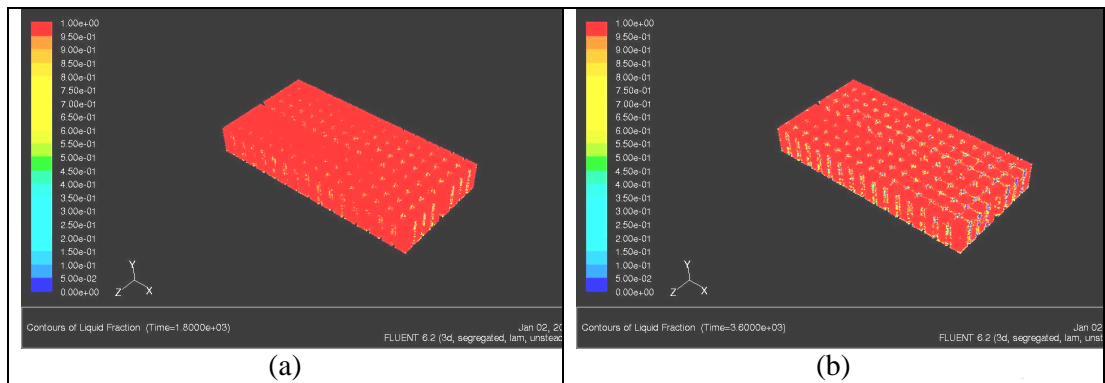
4.2.1 Jarak 30 mm

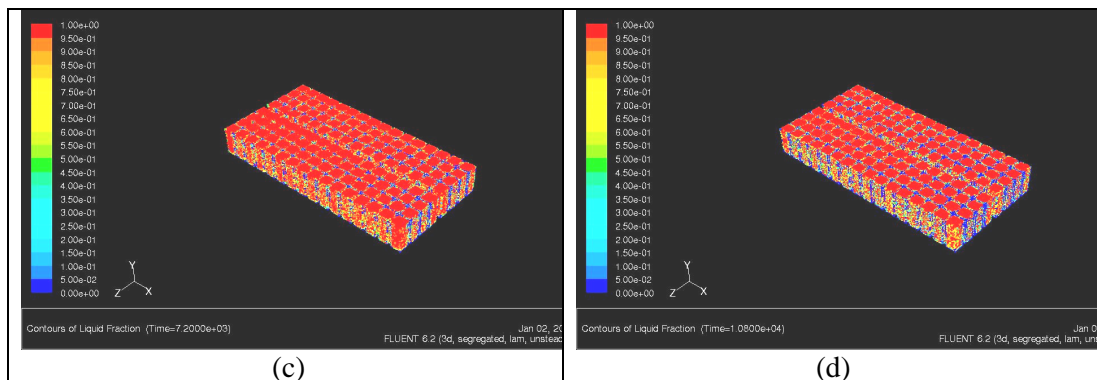
Hal pertama dilakukan adalah menjalankan program Flowizard, kemudian kita meng-import model yang telah dibuat dari software Solidworks dan selanjutnya kita mendefinisikan material yang digunakan, jika tidak ada dapat kita

tambahkan sendiri secara manual. Lalu kita definisikan *Boundary Conditions*, mana yang menjadi dinding (wall), inlet maupun outlet. Ketika semua data yang diperlukan sudah dimasukkan, tahap selanjutnya adalah membuat *mesh* dari model yang nantinya akan diekspor menjadi *Fluent case file*. Kemudian program tersebut kita jalankan sesuai dengan waktu yang kita tetapkan (30, 60, 120 dan 180 menit). Hasil simulasi dengan jarak antara *ice can* dan plat bak dalam sebesar 30 mm dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

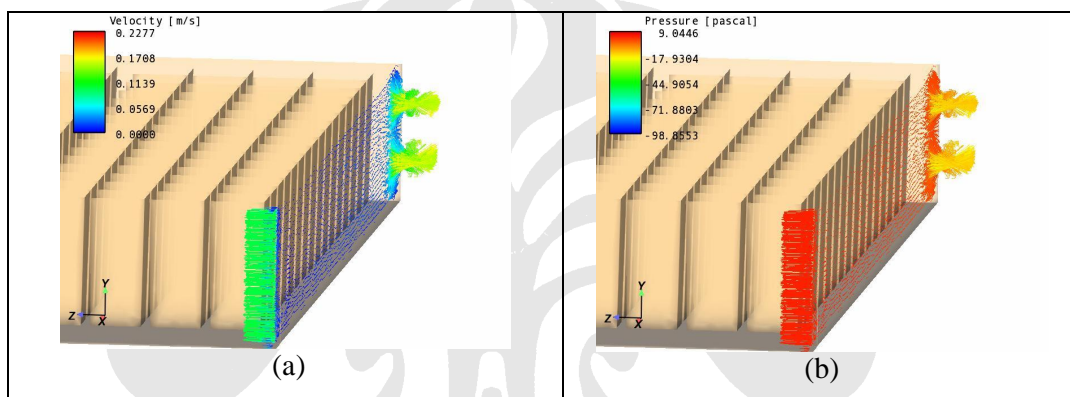


Gambar 26 Distribusi temperatur air es (jarak 30 mm) pada (a) 30 menit, (b) 60 menit, (c) 120 menit, (d) 180 menit





Gambar 27 Solidification air es (jarak 30 mm) pada (a) 30 menit, (b) 60 menit, (c) 120 menit, (d) 180 menit



Gambar 28 Distribusi (a) Kecepatan dan (b) Tekanan pada sisi inlet dan outlet (jarak 30 mm)

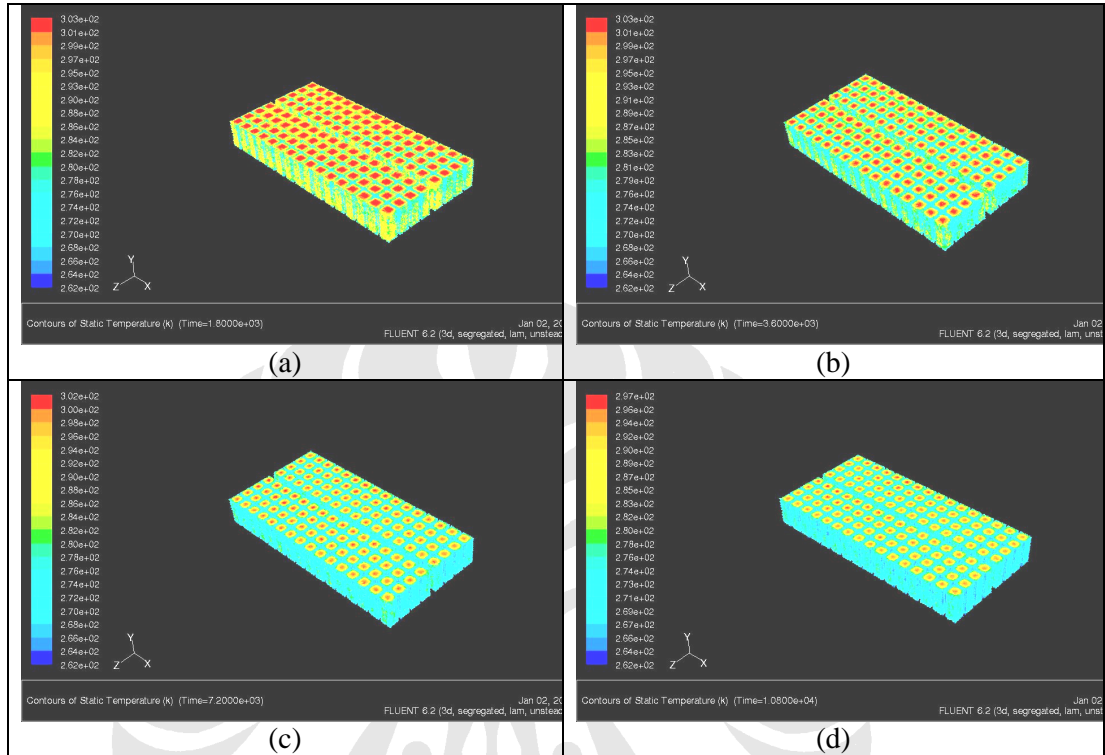
4.2.2 Jarak 50 mm

Tabel 3 Konfigurasi pada boundary

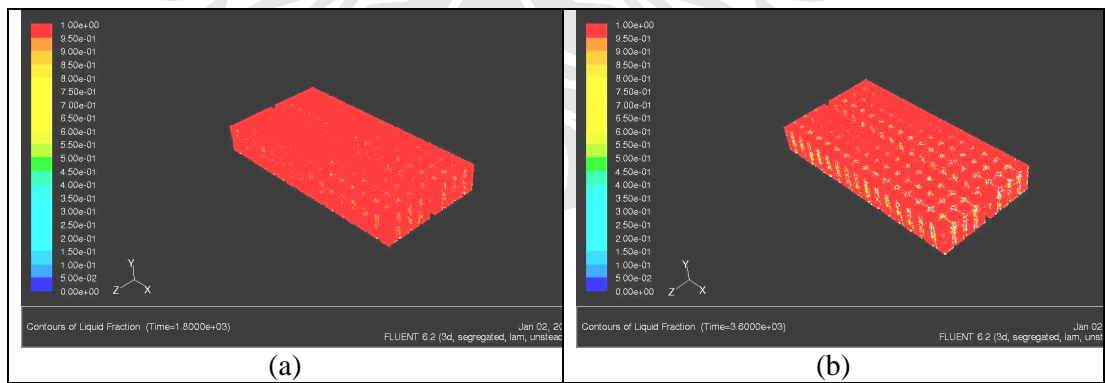
Name	Type	Flow Condition	Thermal Condition
ice can	Wall	not applicable	None (coupled)
atas	Wall	not applicable	Heat flux=80 W/m ²
dinding	Wall	not applicable	Heat flux=16.8 W/m ²
inlet	Inlet	Mass flow rate=8.3718681 kg/s	Temperature=-11 C
outlet	Outlet	Mass flow rate=8.3718681 kg/s	not applicable

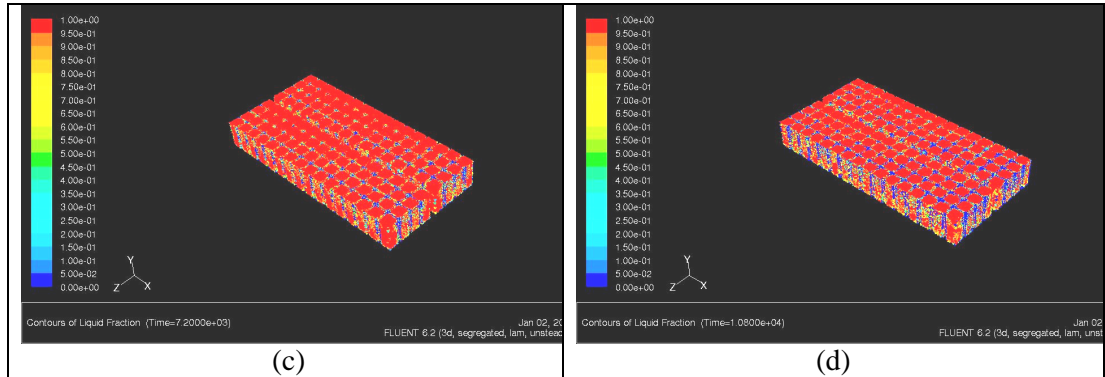
Konfigurasi pada sistem ini sama dengan konfigurasi yang ada pada bagian "jarak 30 mm", seperti luas penampangan input dan output yang sama, temperature dan kecepatan inlet yang sama pula. Perbedaannya terletak pada jarak antara *ice can* dengan balok es, sehingga mengakibatkan perbedaan pula pada

volume brine. Hasil simulasi dengan jarak antara *ice can* dan plat bak dalam sebesar 50 mm dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

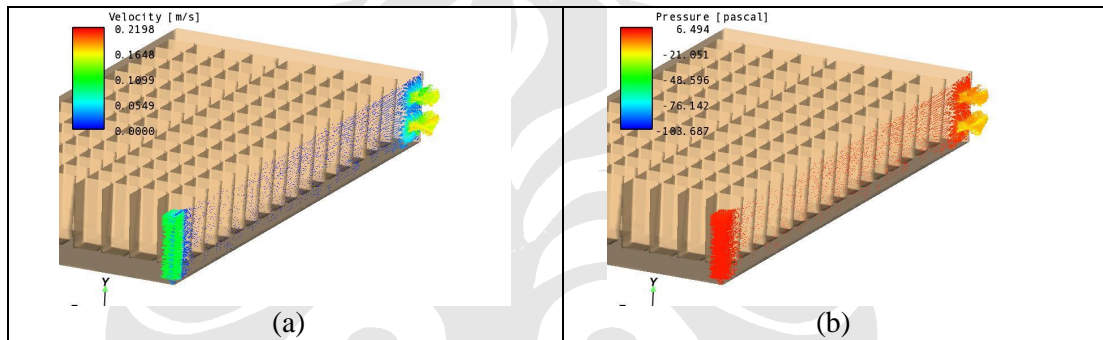


Gambar 29 Distribusi temperatur air es (jarak 50 mm) pada (a) 30 menit, (b) 60 menit, (c) 120 menit, (d) 180 menit





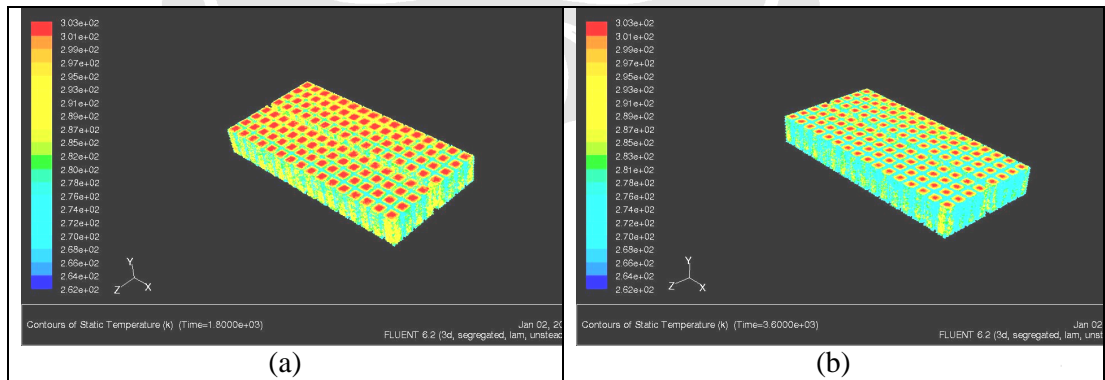
Gambar 30 Solidification air es (jarak 50 mm) pada (a) 30 menit, (b) 60 menit, (c) 120 menit, (d) 180 menit

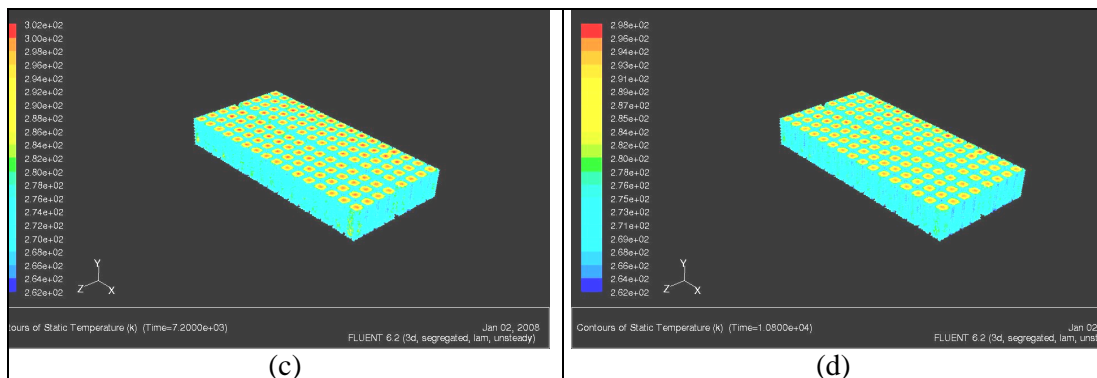


Gambar 31 Distribusi (a) Kecepatan dan (b) Tekanan pada sisi inlet dan outlet (jarak 50 mm)

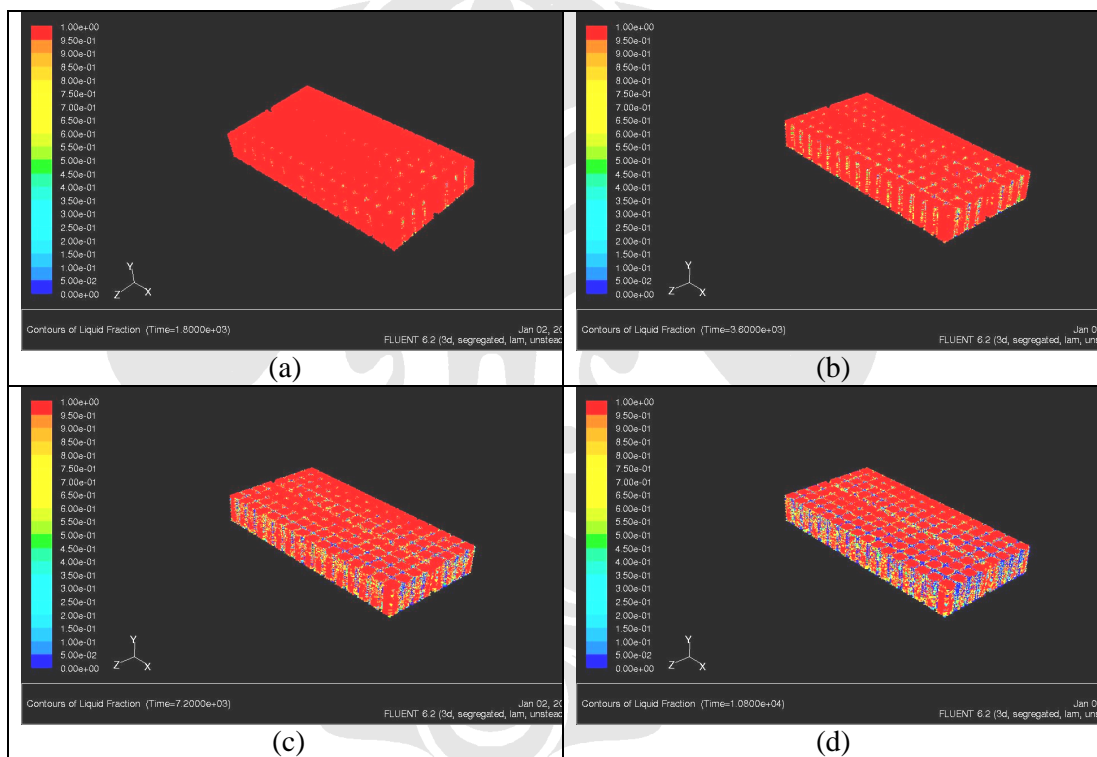
4.2.3 Jarak 70 mm

Hasil simulasi dengan jarak antara *ice can* dan plat bak dalam sebesar 70 mm dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

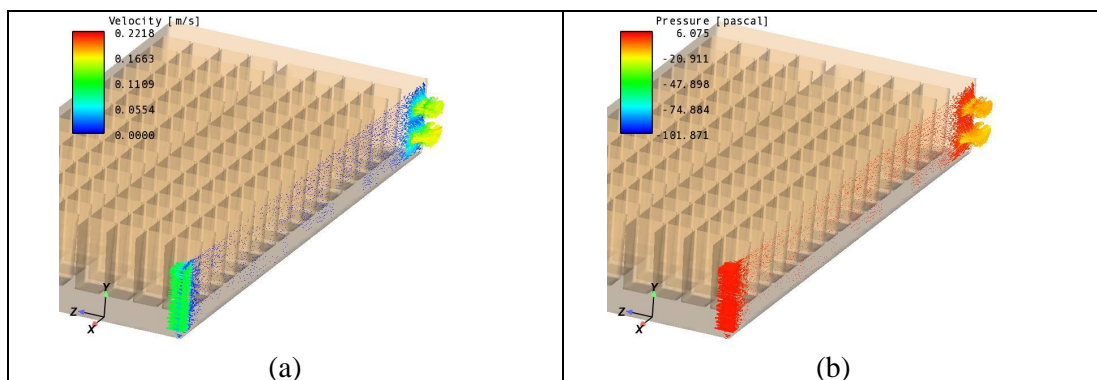




Gambar 32 Distribusi temperature air es (jarak 70 mm) pada (a) 30 menit, (b) 60 menit, (c) 120 menit, (d) 180 menit



Gambar 33 Solidification air es (jarak 70 mm) pada (a) 30 menit, (b) 60 menit, (c) 120 menit, (d) 180 menit

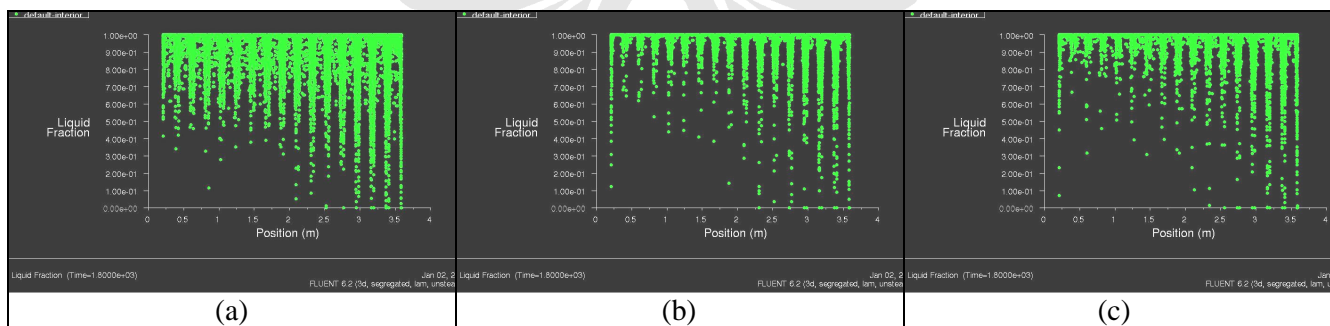


Gambar 34 Distribusi (a) Kecepatan dan (b) Tekanan pada sisi inlet dan outlet (jarak 70 mm)

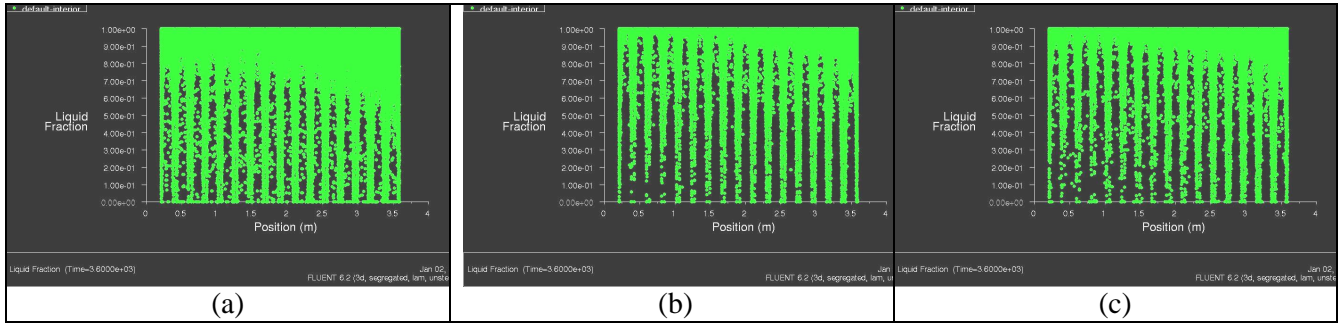
4.3 PERBANDINGAN ANTARA JARAK 30, 50 DAN 70 mm

Pada simulasi kali ini kita mendapatkan hasil bahwa dengan mem-variasikan jarak antara *ice can* dengan bak menghasilkan perbedaan yang cukup terlihat baik itu pada profil temperatur maupun profil *solidifications* es yang terbentuk. Sistem aliran yang digunakan adalah aliran tertutup, artinya aliran mengalir masuk kedalam bak hanya melalui inlet dan keluar melalui outlet dengan kecepatan aliran yang tetap terhadap perubahan waktu..

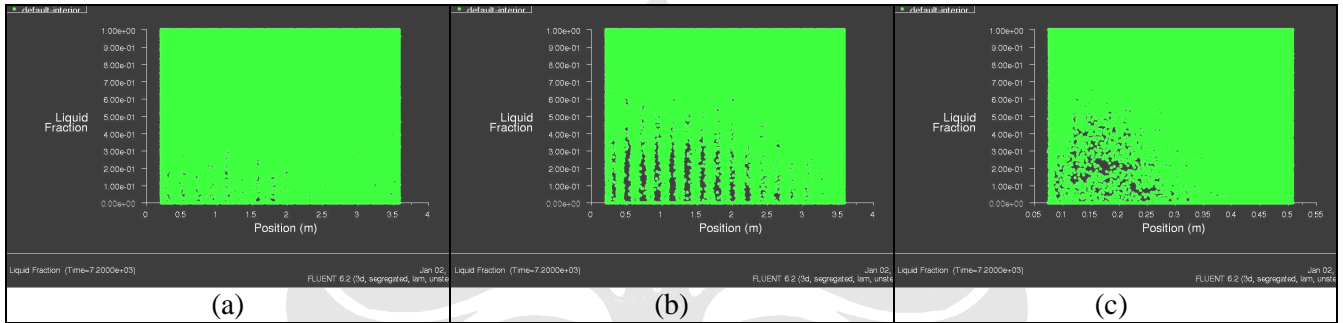
Jika kita lihat dari profil temperatur maupun profil *solidification* dari gambar-gambar sebelumnya terhadap ketiga variasi yang ada, kita akan sulit untuk menentukan variasi jarak yang seperti apa yang paling baik dari ketiganya. Oleh karena itu kita perlu melihat dari grafik *liquid fraction* terhadap posisi dalam sumbu x.



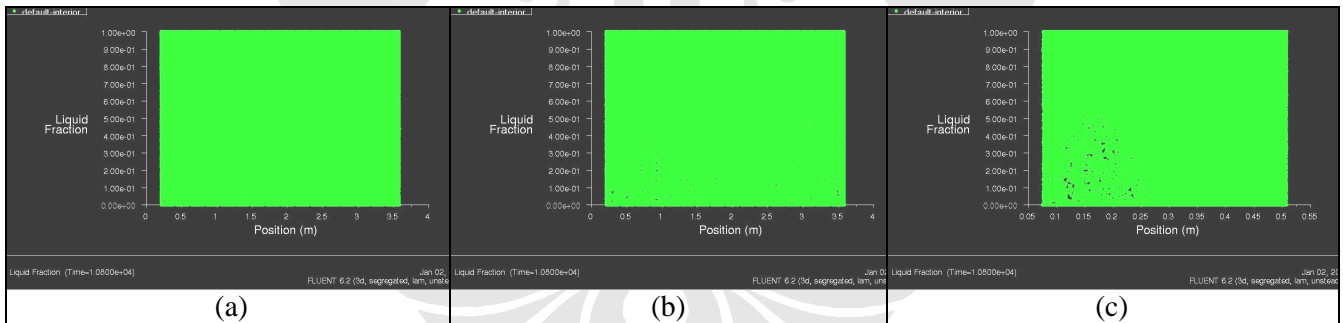
Gambar 35 *liquid fraction* saat 30 menit, (a) jarak 30 mm, (b) jarak 50 mm dan (c) jarak 70 mm



Gambar 36 *liquid fraction* saat 60 menit, (a) jarak 30 mm, (b) jarak 50 mm dan (c) jarak 70 mm

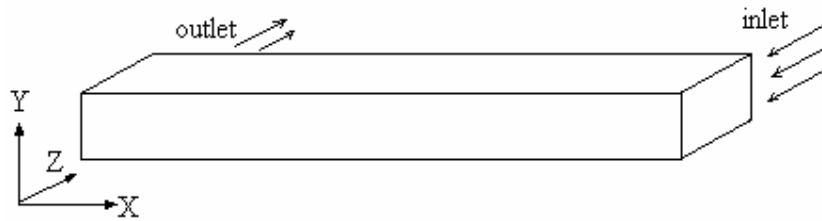


Gambar 37 *liquid fraction* saat 120 menit, (a) jarak 30 mm, (b) jarak 50 mm dan (c) jarak 70 mm



Gambar 38 *liquid fraction* saat 180 menit, (a) jarak 30 mm, (b) jarak 50 mm dan (c) jarak 70 mm

Sumbu y dari gambar diatas merupakan fraksi / fase dari es, nilainya antara nol hingga satu. Nilai nol jika air es telah membeku dan nilai satu jika fasenya masih cair. Sumbu x merupakan posisi dari bak es sesuai dengan sumbu geometri model.

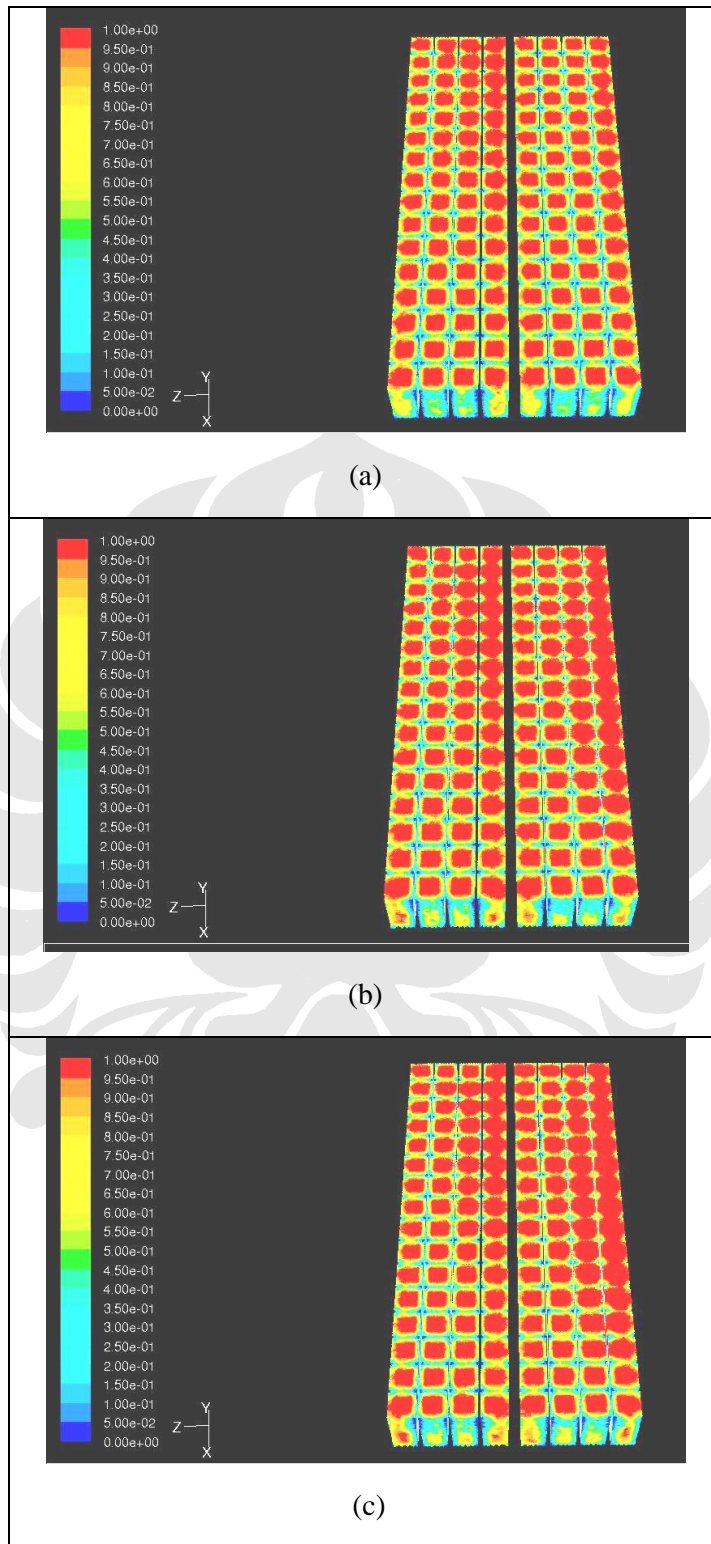


Gambar 39 Sumbu koordinat model

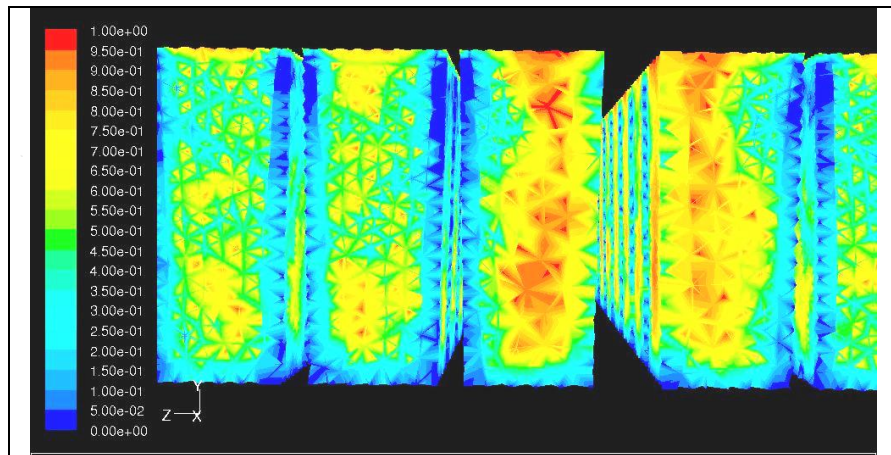
Pada hasil simulasi terlihat bahwa pembentukan es yang terlebih dahulu adalah pada bagian yang paling dekat dengan aliran masuk dan bagian yang paling lama adalah bagian yang paling dekat dengan aliran keluar. Hal ini disebabkan karena pada saat brine masuk ke dalam bak, temperaturnya masih sangat rendah, yakni -11°C . Namun setelah melewati beberapa cetakan, lama kelamaan temperatur brine akan menyeimbangkan (menyerap kalor) dengan lingkungan sekitar sehingga menyebabkan temperatur naik. Semakin tinggi temperaturnya, maka daya serap kalor brine akan semakin melemah.

Berdasarkan gambar 35 hingga 38, terlihat jelas bahwa fraksi/ fase air es yang bernilai nol terjadi paling cepat terjadi pada konfigurasi jarak antara *ice can* dengan bak sebesar 30 mm. Pada gambar 37, terlihat bahwa *liquid fraction* setelah 2 jam tampak tersebar merata pada konfigurasi jarak antara *ice can* dengan bak sebesar 30 mm jika dibandingkan dengan lainnya, atau dengan kata lain air sedang mengalami perubahan fase diseluruh *ice bank* pada konfigurasi jarak 30 mm pada waktu 2 jam sedangkan konfigurasi yang lainnya belum.

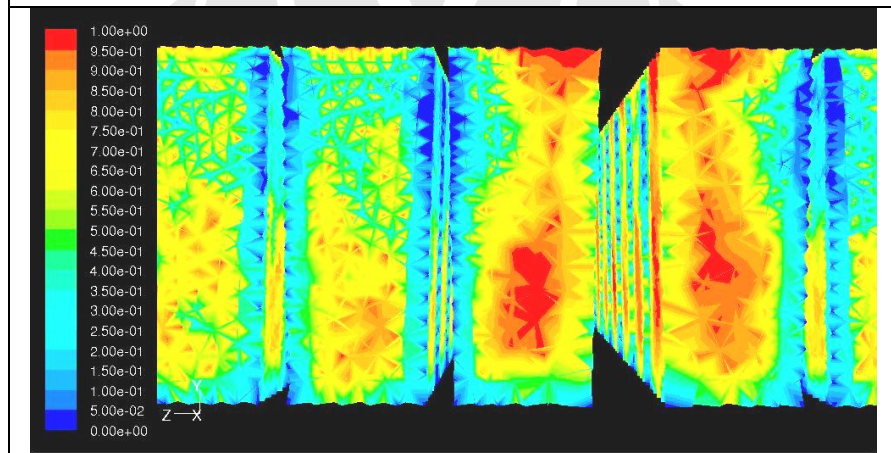
Untuk mengetahui seberapa besar *solidifications* es yang terbentuk, kita dapat melihatnya dalam *solidification* es tampak atas setelah 3 jam (gambar 40). Terlihat bahwa daerah merah atau daerah fase cair paling banyak dilihat pada konfigurasi jarak 70 mm, sedangkan daerah merah yang paling sedikit terlihat pada konfigurasi jarak 30 mm. Ini berarti bahwa pembentukan es lebih banyak terjadi pada konfigurasi jarak antara *ice can* dengan bak sebesar 30 mm jika dibandingkan dengan konfigurasi lainnya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa transfer panas yang terjadi antara air es dengan air garam (brine) yang paling tinggi terjadi pada konfigurasi jarak 30 mm.



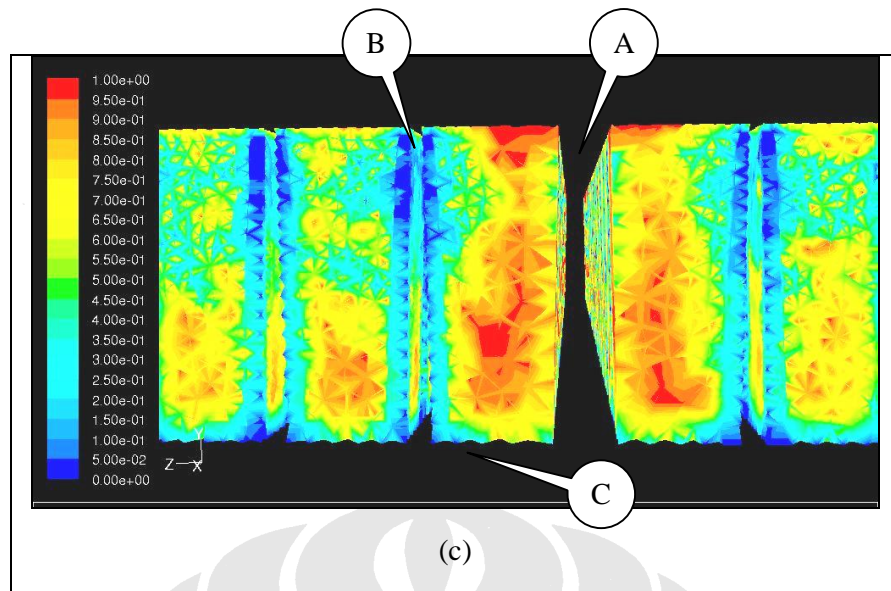
Gambar 40 Solidification es tampak atas setelah 3 jam pada (a) jarak 30 mm, (b) jarak 50 mm dan (c) jarak 70 mm



(a)



(b)



Gambar 41 Solidification es tampak depan (dekat inlet) setelah 3 jam pada (a) jarak 30 mm, (b) jarak 50 mm dan (c) jarak 70 mm

Jika dilihat dengan lebih dalam pada sisi depan dekat inlet, terlihat bahwa setelah waktu 3 jam daerah berwarna biru paling banyak terdapat pada konfigurasi jarak 30 mm jika dibandingkan dengan konfigurasi lainnya. Warna biru menandakan bahwa air tersebut telah membeku menjadi es sedangkan yang berwarna merah menandakan bahwa fase-nya masih menjadi air. Pada gambar diatas juga terlihat bahwa pembentukan es terjadi dari sisi tepi menuju tengah. Ini dikarenakan bagian yang bersentuhan dengan brine adalah sisi bagian tepi. Terlihat juga bahwa pembentuka es terjadi pada sisi-sisi dimana jarak antar *ice can* cukup rapat sedangkan pada jarak antar *ice can* yang lebih renggang, pembentukan es belum terbentuk.

Tabel 4 Kecepatan (m/s) beberapa titik saat 3 jam

	A	B	C
30	4.64-6.19 e-2	1.55-3.09 e-2	4.64-6.19 e-2
50	4.68-6.23 e-2	1.56-3.12 e-2	4.68-6.23 e-2
70	4.88-6.51 e-2	1.63-3.26 e-2	6.51-8.14 e-2

Pada tabel diatas terlihat bahwa kecepatan pada titik B (daerah yang rapat) sangat lambat dibandingkan dengan pada titik A (daerah yang lebar) dan C (daerah yang bawah). Fenomena ini mungkin disebabkan adanya turbulensi pada daerah antar *ice can* yang rapat. Seperti yang kita ketahui bahwa turbulensi sangat mempengaruhi perpindahan panas. Namun ini masih membutuhkan penelitian lebih lanjut.