

BAB IV

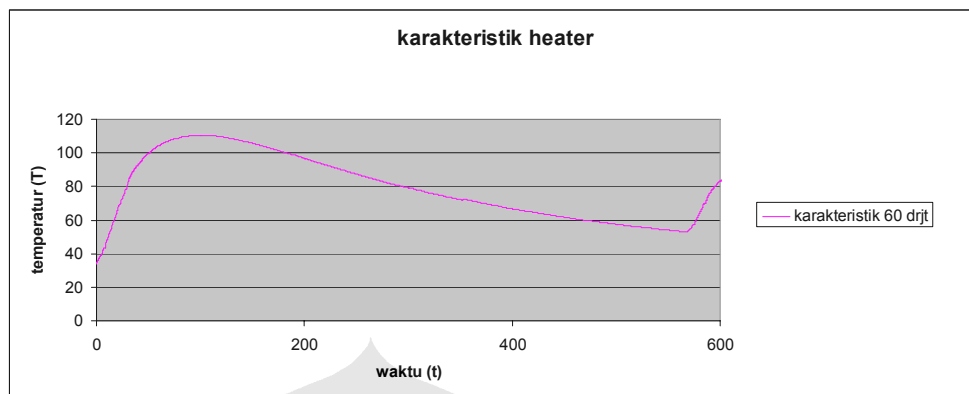
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 DATA KARAKTERISASI HEATER

Seperti yang telah disebutkan pada bab 3 pada bagian metodologi penelitian, sebelum diambil data ketidakstabilan aliran yang terjadi melewati medan gradien temperatur dengan menggunakan kamera *recorder*, maka sebelumnya harus diketahui terlebih dahulu karakterisasi *heater* yang digunakan. Dari empat *heater* yang digunakan dengan jenis yang sama diambil satu *heater* sebagai sampel untuk mendapatkan data karakterisasi *heater* pada temperatur yang diinginkan, yaitu 40, 60, 80 dan 100 derajat Celcius dengan alat kontrol temperaturnya adalah *Thermostat*. Alat yang digunakan untuk mengambil data karakterisasi *heater* adalah *termokopel* yang kemudian dihubungkan dengan komputer menggunakan *software APPA WinDMM 100S*, data yang diambil adalah setiap setengah detik. Data karakterisasi *heater* dibutuhkan untuk mendapatkan range rata-rata kestabilan temperatur yang disetting pada *thermostat*.

Dari data rekaman data dengan *software APPA WinDMM 100S* dapat kita lihat bahwa *heater* selalu mengalami fluktuasi dalam mencapai kestabilan temperatur. Tetapi fluktuasi yang terjadi membentuk grafik yang tetap dan stabil pada temperatur yang disetting setelah beberapa menit dan temperatur yang diinginkan berada pada range tersebut. Untuk mendapatkan range rata-rata dari suatu temperatur maka dapat dilihat kestabilannya terhadap waktu saat temperatur mulai turun dari titik maksimal. Dengan asumsi bahwa waktu maksimum untuk laju aliran fluida adalah 300 detik (5 menit), maka data yang dapat diambil adalah 600 data. Sehingga kestabilan *range* temperatur yang diinginkan harus memiliki waktu maksimum 300 detik. Untuk itu dapat diambil satu contoh grafik dimana

range kestabilan temperaturnya mencapai waktu terlalu lama 300 detik yaitu pada temperatur yang disetting 60 derajat.



Gambar 4.1 *Range* rata-rata pada temperatur 60 derajat

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa *range* temperatur yang diinginkan berada pada posisi waktu antara 200 detik sampai dengan 500 detik yang berarti 300 detik sesuai dengan waktu maksimum yang diinginkan.

4.2 ANALISA VISUALISASI ALIRAN TIAP-TIAP FLUIDA

Pada awalnya data video diubah terlebih dahulu menjadi beberapa gambar dengan *range* waktu tertentu berdasarkan pergerakan aliran saat melewati *heater*. Dari data yang didapat maka terlihat berbagai fenomena ketidakstabilan aliran yang terjadi antara satu fluida dengan fluida yang lain ketika melewati medan gradien temperatur pada jarak *heater*, lebar celah dan kemiringan sudut yang berbeda. Pada gambar-gambar tersebut dapat dilihat bagaimana perkembangan tinggi gelombang yang terjadi (y) dan tinggi gelombang maksimal ($\hat{\theta}$) serta jumlah panjang gelombang yang terbentuk ($\sum \ell_i$) akibat terkena pengaruh temperatur yang berubah. Adapun medan gradien temperatur dibagi menjadi dua yaitu medan gradien temperatur negatif dan medan gradien temperatur positif. Medan gradien temperatur negatif dimulai dari temperatur yang lebih tinggi ke temperatur yang lebih rendah, dan medan gradien temperatur positif adalah kebalikan dari medan gradien temperatur negatif yaitu temperatur rendah ke temperatur tinggi. Selanjutnya dapat dilihat fenomena aliran pada medan gradien temperatur negatif.

4.2.1 Visualisasi aliran pada medan gradien temperatur negatif

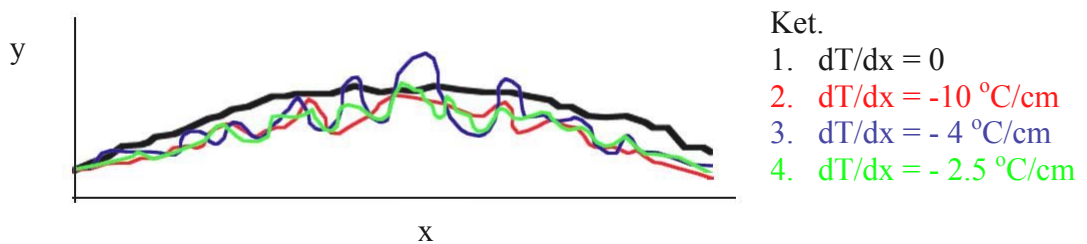
a. *Glycerin*

Disini terlihat jelas bagaimana perkembangan aliran yang terjadi pada waktu tertentu (t) untuk fluida *glycerin* yang dipengaruhi lebar celah (b), kemiringan sudut (α) dan perubahan temperatur *heater* yang disertai perubahan jarak antar heater (dT/dx). Di bawah ini merupakan salah satu contoh gambar perbandingan pola aliran *glycerin* dengan jarak heater yang berubah pada kemiringan sudut 15 derajat dan lebar celah 0.8 mm pada $t = 30$ detik.



Gambar 4.2 Pola aliran *glycerin* dengan dT/dx yang berbeda, α dan b sama, $t = 30$ detik.

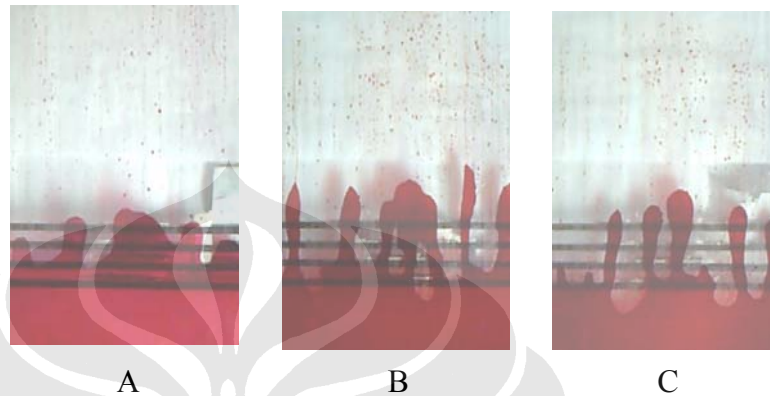
Pada gambar di atas terlihat jelas perbedaan pola gelombang yang terbentuk karena pengaruh temperatur yang berbeda yang disebabkan konsentrasi panas yang diterima berbeda karena perbedaan jarak *heater*. Dengan semakin lebar jarak *heater* maka jumlah panjang gelombang ($\sum \ell_i$) yang terbentuk cenderung lebih banyak dan lebih menyerupai bentuk jari-jari. Adapun contoh grafik perbandingan pola aliran pada dT/dx yang berbeda dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 4.3 Contoh grafik pola aliran *glycerin* dengan dT/dx yang berbeda.

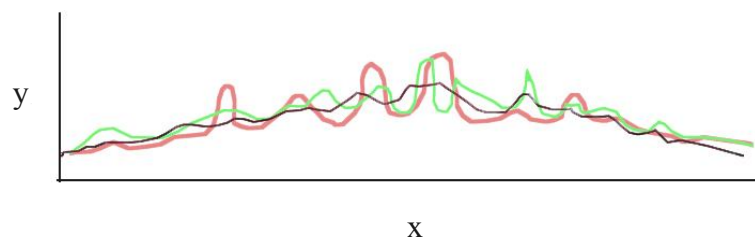
Dari data di atas terlihat perbandingan dengan kondisi $dT/dx = 0$ dimana pada t yang sama belum menampakkan terbentuknya gelombang.

Selanjutnya dapat dilihat salah satu contoh perkembangan aliran *glycerin* dengan lebar celah yang berbeda tetapi kemiringan sudut dan jarak *heater* yang sama pada $t = 30$ detik.



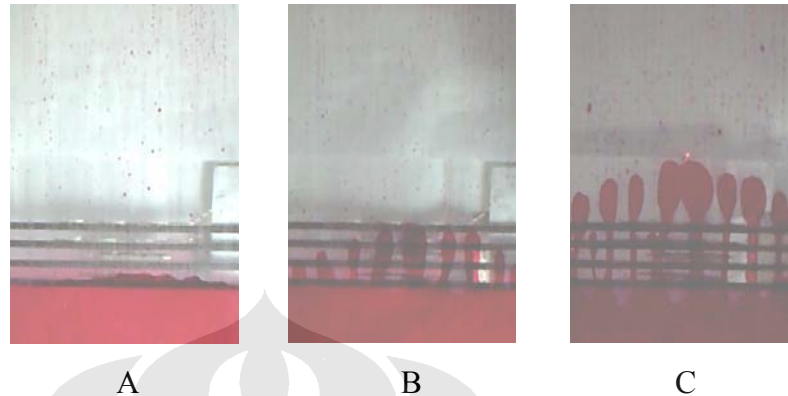
Gambar 4.4 Pola aliran *glycerin* dengan dT/dx dan α yang sama, b yang berbeda. A pada $b = 0,8\text{mm}$, B pada $b = 1,2\text{ mm}$ dan C pada $b = 1,5\text{ mm}$.

Dari gambar di atas dapat dilihat perbedaan pola gelombang yang terbentuk karena lebar celah yang berbeda walaupun konsentrasi panas yang diterima besar dan luas areanya sama. Dengan semakin besar lebar celah aliran maka tinggi gelombang yang terbentuk pada waktu yang sama juga akan semakin besar. Demikian juga dengan jumlah panjang gelombang yang tercipta semakin banyak. Di bawah ini merupakan salah satu contoh grafik perbandingan pola aliran *glycerin* dengan lebar celah yang berbeda.



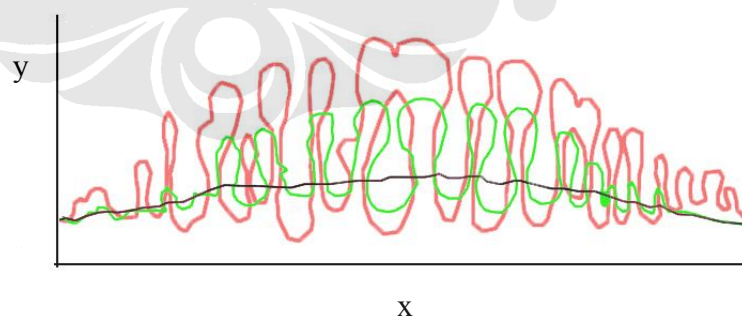
Gambar 4.5 Contoh grafik pola aliran *glycerin* dengan b yang berbeda. Ket. : Hitam = 0.8mm , Hijau = 1.2mm , Merah = 1.5mm .

Berikut ini contoh gambar perkembangan aliran dengan kemiringan sudut yang berbeda, dimana pola gelombang yang terbentuk terlihat sangat berbeda. Gambar diambil pada $b = 0.8\text{mm}$ dengan jarak antar heater 5 cm dan $t = 10\text{ detik}$.



Gambar 4.6 Pola *glycerin* dengan kemiringan sudut yang berbeda, pada t dan b yang sama. A = 15 derajat, B = 45 derajat, C = 75 derajat.

Pada gambar di atas terlihat jelas perbedaan tinggi gelombang yang tercipta, dimana kemiringan sudut yang besar memberikan pengaruh yang besar terhadap panjang gelombang yang terbentuk dari aliran *glycerin* yang awalnya terkena panas sehingga viskositasnya sedikit berkurang. Dengan demikian laju aliran menjadi lebih cepat dan dengan semakin besar sudut kemiringan maka gaya gravitasi yang mempengaruhi juga semakin besar. Berikut adalah contoh grafik perbandingan dengan kemiringan sudut yang berbeda.



Gambar 4.7 Contoh grafik pola aliran *glycerin* dengan α yang berbeda. Ket. : Hitam = 15 derajat, Hijau = 45 derajat, Merah = 75 derajat.

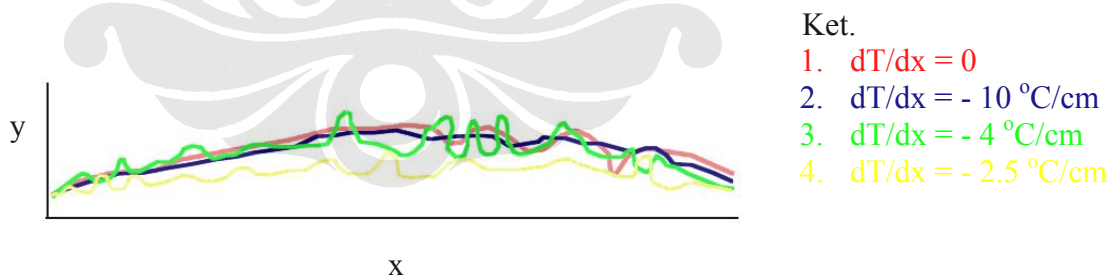
b. *Castor oil*

Di bawah ini merupakan salah satu contoh aliran *castor oil* yang melewati medan gradien temperatur negatif dengan jarak antar *heater* yang berubah. Lebar celah yang diambil adalah 0,8 mm dengan kemiringan sudut 15 derajat.



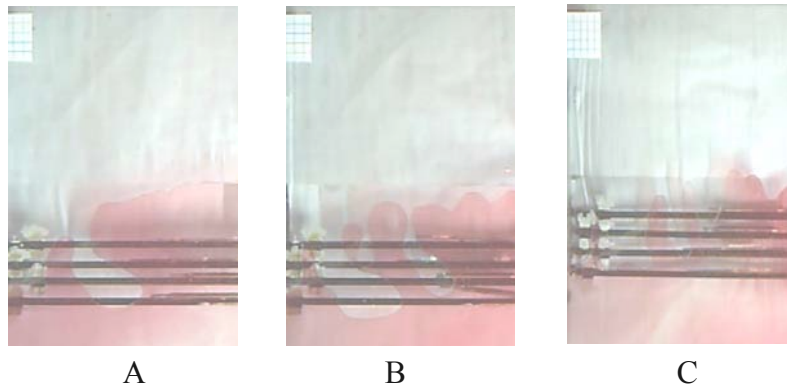
Gambar 4.8 Pola aliran *castor oil* dengan dT/dx yang berbeda, α dan b sama, $t = 50$ detik.

Dari gambar di atas terlihat perilaku yang sama terjadi seperti halnya dengan fluida *glycerin*, dimana perubahan jarak antar *heater* mempengaruhi (y) dan ($\hat{\theta}$) yang terbentuk serta ($\sum \ell_i$) yang tercipta. Selanjutnya diberikan grafik perbandingan pola aliran pada kondisi dT/dx yang berbeda, termasuk pada kondisi $dT/dx = 0$ dari eksperimen sebelumnya.



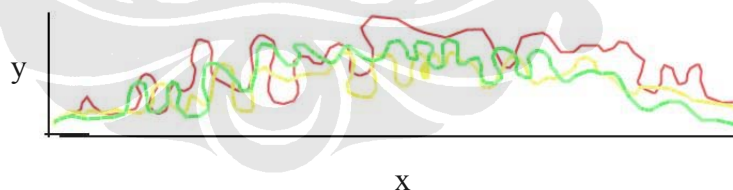
Gambar 4.9 Contoh grafik pola aliran *castor oil* dengan dT/dx yang berbeda.

Selanjutnya dapat dilihat perbedaan ketidakstabilan aliran *castor oil* yang terjadi pada kemiringan sudut dan jarak heater yang sama tetapi dengan lebar celah yang berbeda. Gambar yang diambil pada $t = 70$ detik.



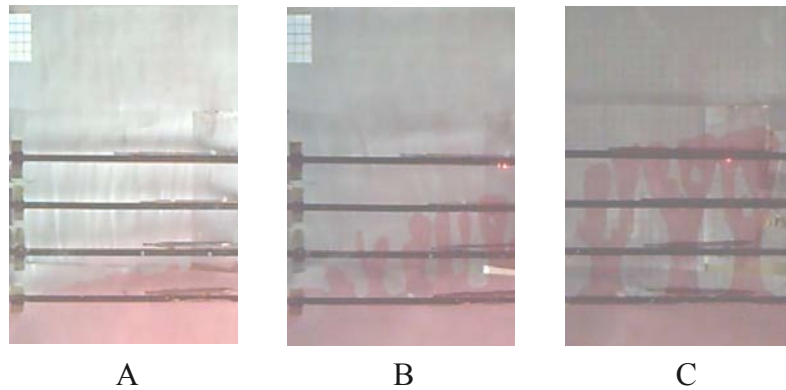
Gambar 4.10 Aliran *castor oil* pada dT/dx dan α yang sama, $A = 0,8\text{mm}$, $B = 1,2\text{ mm}$, $C = 1,5\text{ mm}$.

Dari gambar di atas terlihat bahwa pola panjang gelombang yang terbentuk semakin kecil dengan bertambahnya lebar celah. Pada gambar A dan B perkembangan ketidakstabilan aliran lebih cepat terjadi pada sisi samping, tidak demikian halnya dengan gambar C, dimana aliran berkembang tidak stabil pada daerah pertengahan. Semakin besar lebar celah maka konsentrasi panas yang diterima akan semakin kecil, demikian sebaliknya sehingga seolah-olah seluruh fluida terkena panas yang sama karena lebar celah yang kecil. Contoh grafik yang menunjukkan perbandingan pola aliran dengan b yang berbeda dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



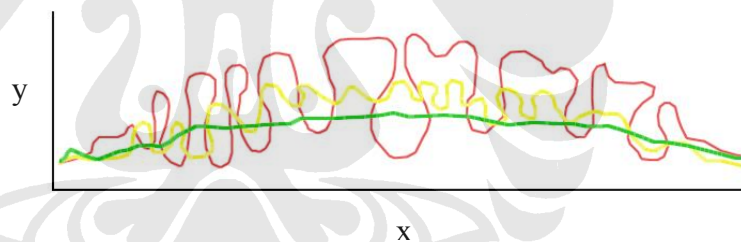
Gambar 4.11 Contoh grafik pola aliran *Castor oil* dengan b yang berbeda. Ket. : Hijau = 0.8 mm , kuning 1.2 mm , Merah = 1.5mm .

Berikutnya diperlihatkan contoh aliran castor oil pada lebar celah dan jarak heater yang sama tetapi dengan kemiringan sudut yang berbeda pada $t = 15$ detik. Dimana secara teori aliran pada kemiringan sudut yang paling besar akan mempunyai y dan $(\hat{\theta})$ paling besar karena gaya gravitasi yang mempengaruhi aliran paling besar dibandingkan dengan kemiringan sudut yang lebih kecil.



Gambar 4.12 Pola aliran *castor oil* pada kemiringan sudut yang berbeda, b dan dT/dx yang sama. A = 15 derajat, B = 45 derajat, C = 75 derajat.

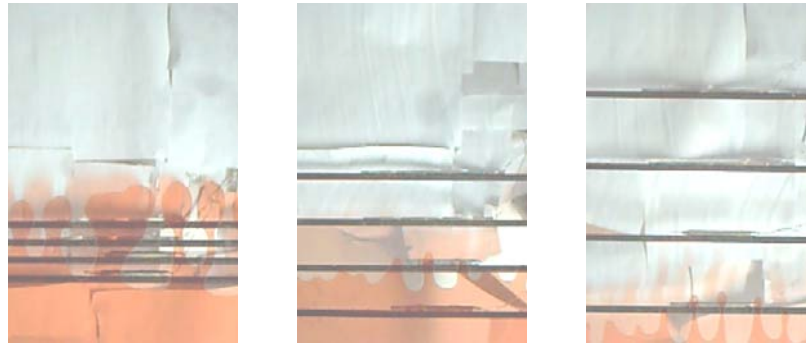
Fenomena yang sama terlihat pada gambar di atas, dimana kemiringan sudut yang semakin besar membuat laju aliran lebih cepat serta membentuk tinggi gelombang yang lebih besar pada waktu yang sama. Tetapi pada gambar B jumlah panjang gelombang yang terbentuk lebih banyak dibandingkan dengan 2 gambar lainnya. Di bawah ini contoh grafik perbandingan bentuk pola aliran yang terjadi pada α yang berbeda.



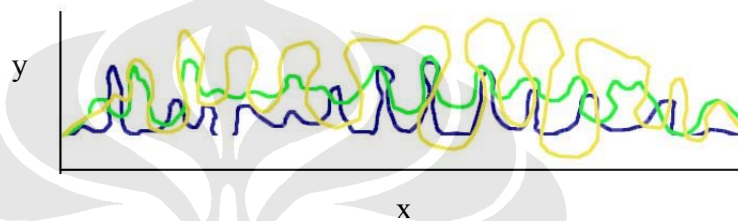
Gambar 4.13 Contoh grafik pola aliran *Castor oil* dengan α yang berbeda. Ket. : Hijau = 15 derajat, kuning = 45 derajat, Merah = 75 derajat.

c. *SAE 30*

Fluida ini memiliki viskositas yang paling rendah diantara 3 fluida yang digunakan. Sehingga secara teori, *SAE 30* lebih mudah membentuk pola ketidakstabilan akibat pengaruh temperatur. Selanjutnya dapat diperhatikan gambar di bawah ini, yaitu salah satu contoh ketidakstabilan aliran yang terjadi pada jarak heater yang berubah dengan kemiringan sudut dan lebar celah yang sama. Selanjutnya diberikan contoh grafik pola aliran yang terjadi pada kondisi dT/dx yang berbeda.



Gambar 4.14 Aliran *SAE 30* pada $b = 1.2$ mm, $\alpha = 15$ derajat.



Gambar 4.15 Contoh grafik pola aliran *SAE 30* dengan dT/dx yang berbeda. Ket. : kuning = -10 °C/cm, Hijau = -4 °C/cm, Biru = -2.5 °C/cm.

Selanjutnya dapat dilihat bagaimana pola perkembangan aliran *SAE 30* dengan lebar celah yang berbeda tetapi jarak heater dan kemiringan sudut tetap.



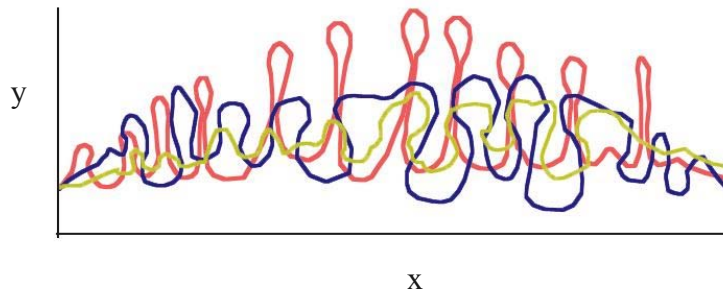
A

B

C

Gambar 4.16 Pola aliran *SAE 30* pada $\alpha = 15$ derajat, $dT/dx = 10$ °C/cm. A = 0.8mm, B = 1.2 mm, C = 1.5 mm.

Lebar celah yang semakin besar pada gambar (C) akan memberikan ruang gerak yang lebih bebas terhadap aliran *SAE 30* sehingga laju aliran lebih cepat dengan tinggi gelombang aliran paling besar dibandingkan dengan gambar (A) dan (B). berikut adalah grafik pola aliran pada kondisi b yang berbeda.



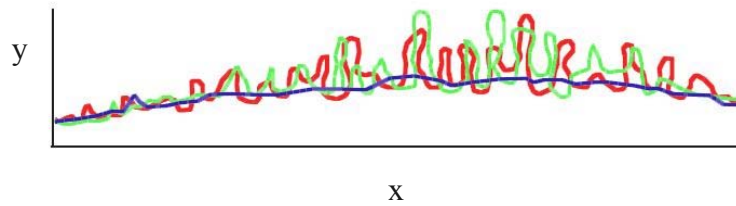
Gambar 4.17 Contoh grafik pola aliran *SAE 30* dengan b yang berbeda. Ket. : Kuning = 0.8 mm, Biru = 1.2 mm, Merah = 1.5 mm.

Selanjutnya dilihat bagaimana dengan pengaruh faktor kemiringan sudut terhadap aliran *SAE 30*. Gambar diambil pada t dan b serta dT/dx yang sama dengan α yang berbeda.



Gambar 4.18 Ketidakstabilan aliran *SAE 30* pada $t = 15$ detik, $b = 0.8$ mm. A = 15 derajat, B = 45 derajat, C = 75 derajat.

Dari gambar di atas terlihat jelas perbedaan pola aliran akibat kemiringan sudut yang semakin besar. Gambar (B) dan (C) terlihat memiliki pola ketidakstabilan yang hampir sama, tetapi gambar (C) menunjukkan y dan $(\hat{\theta})$ yang lebih besar. Karena viskositas yang kecil dan juga karena terkena pengaruh panas, fluida *SAE 30* lebih cepat tidak stabil bila dialirkan pada kemiringan sudut yang semakin besar. Di bawah ini dapat dilihat grafik pola aliran yang terjadi pada kondisi α berubah.



Gambar 4.19 Contoh grafik pola aliran SAE 30 dengan α yang berbeda. Ket. : Biru = 15 derajat, Hijau = 45 derajat, Merah = 75 derajat.

4.2.2 Visualisasi aliran pada medan gradien temperatur positif

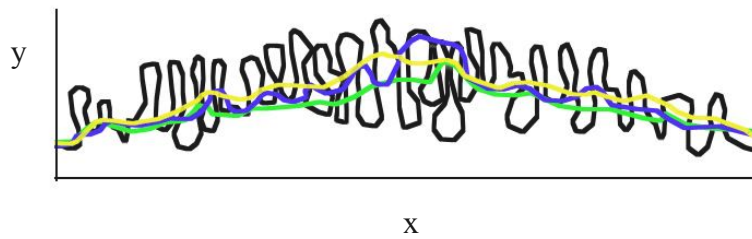
a. *Glycerin*

Sama dengan aliran pada gradien negatif, disini akan dilihat dan dianalisa visualisasi aliran fluida glycerin yang dialirkan melewati perubahan temperatur yang meninggi dengan perbedaan temperatur antar *heater* 20 derajat. Di bawah ini contoh gambar aliran fluida glycerin yang ketidakstabilannya dipengaruhi oleh perubahan jarak heater pada t , b dan α yang tetap.



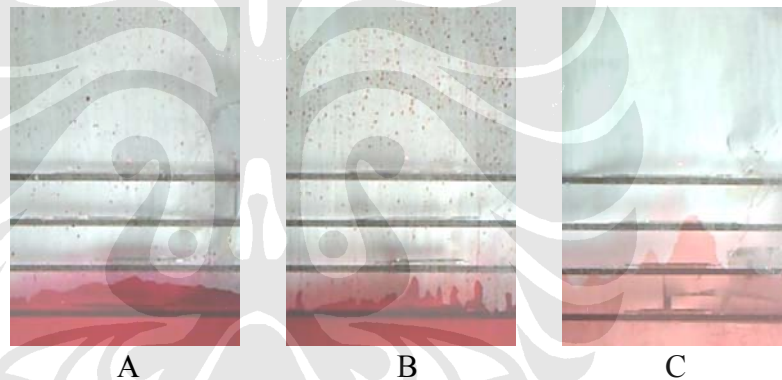
Gambar 4.20 Perkembangan aliran glycerin ($dT/dx \geq 0$) pada $b = 0.8$ mm, $\alpha = 15$ derajat, $t = 50$ detik.

Pada gambar di atas terlihat pada jarak heater 2 cm mempunyai y dan $(\hat{\theta})$ paling besar dengan $(\sum \ell_i)$ yang telah dapat diukur hasilnya sesuai dengan aturan-aturan definisi gelombang. Ini dapat disebabkan karena jarak fluida dengan *heater* yang paling tinggi temperaturnya (*heater* keempat) lebih dekat pada kondisi jarak heater 2 cm. Contoh grafik pola aliran pada kondisi yang serupa dapat dilihat berikut ini.



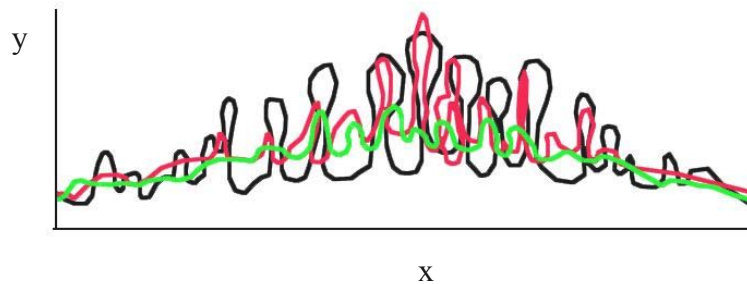
Gambar 4.21 Contoh grafik pola aliran glycerin dengan $dT/dx \geq 0$ yang berbeda.
Ket. : Hitam $dT/dx = 0$, Hijau $dT/dx = 10 \text{ }^\circ\text{C/cm}$, Biru $dT/dx = 4 \text{ }^\circ\text{C/cm}$, Kuning $dT/dx = 2.5 \text{ }^\circ\text{C/cm}$.

Selanjutnya perhatikan gambar aliran *glycerin* pada kondisi b yang berbeda, α dan dT/dx yang tetap pada waktu yang sama.



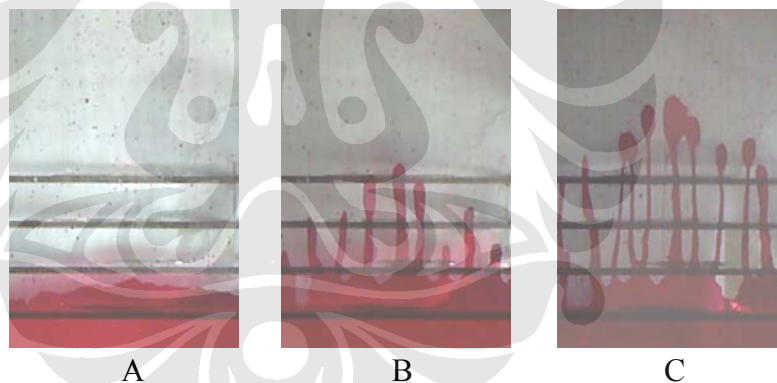
Gambar 4.22 Aliran *glycerin* ($dT/dx \geq 0$) pada $\alpha = 15$ derajat, $t = 30$ detik. A = 0.8mm, B = 1.2mm, C = 1.5mm.

Dari gambar di atas terlihat bahwa semakin besar celah maka laju aliran glycerin semakin cepat dengan tinggi gelombang yang terbentuk paling besar dibandingkan dengan aliran pada lebar celah yang lebih sempit. Adapun grafik pola aliran fluida pada kondisi yang serupa adalah sebagai berikut.



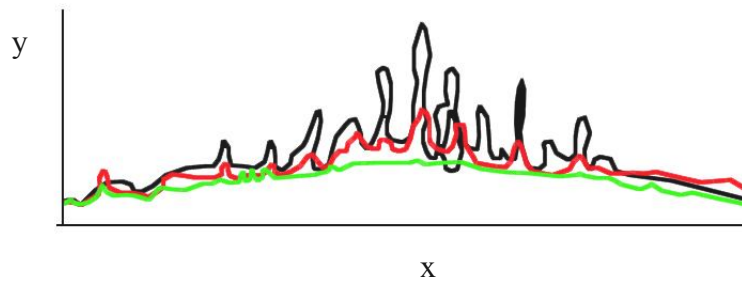
Gambar 4.23 Grafik pola aliran *glycerin* ($dT/dx \geq 0$) dengan b yang berbeda. Ket. : Hijau = 0.8 mm, Merah = 1.2 mm, Hitam = 1.5 mm.

Berikut ini gambar aliran *glycerin* dengan kemiringan sudut yang berbeda pada b dan dT/dx yang tetap. Secara teori, dengan bertambahnya kemiringan sudut kaca maka laju aliran akan semakin besar sehingga y dan $(\hat{\theta})$ yang terbentuk juga semakin besar. Ini disebabkan karena pengaruh gaya gravitasi yang semakin besar dengan bertambahnya kemiringan sudut kaca.



Gambar 4.24 Aliran *glycerin* dengan ($dT/dx \geq 0$) $b = 0.8$ mm, $t = 30$ detik. A = 15 derajat, B = 45 derajat, C = 75 derajat.

Di bawah ini adalah grafik perbandingan pola aliran fluida glycerin pada kondisi kemiringan sudut yang berbeda. Dimana jelas terlihat tinggi gelombang maksimal paling besar terjadi pada kemiringan sudut yang paling besar dimana gaya gravitasi yang diterima aliran paling besar.



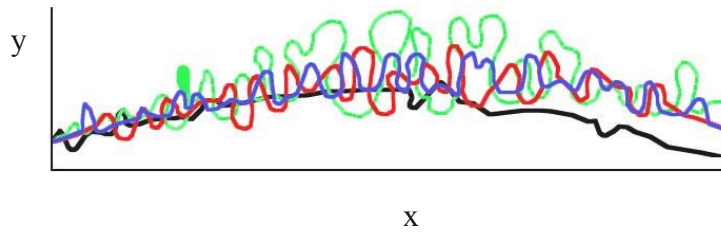
Gambar 4.25 Grafik pola aliran *glycerin* ($dT/dx \geq 0$) dengan α yang berbeda.
Ket. : Hijau = 15 derajat, Merah = 45 derajat, Hitam = 75 derajat.

b. *Castor oil*

Berikut ini adalah gambar contoh aliran *castor oil* dengan jarak *heater* yang berubah yang diambil pada kondisi b dan α tetap pada waktu yang sama. Pada gambar terlihat bahwa fenomena yang sama seperti pada *glycerin* juga terjadi pada aliran *castor oil*, dimana pada kondisi jarak heater 2 cm, aliran fluida telah menunjukkan terbentuknya pola panjang gelombang dan telah dapat diukur bila dibutuhkan sesuai dengan aturan yang mendefinisikannya. Sedangkan pada kondisi jarak heater 5 cm dan 8 cm, aliran fluida terlihat baru akan mengalami ketidakstabilan dan belum mengalami pengaruh panas yang besar. Di bawah ini juga diberikan contoh grafik pada kondisi yang serupa.

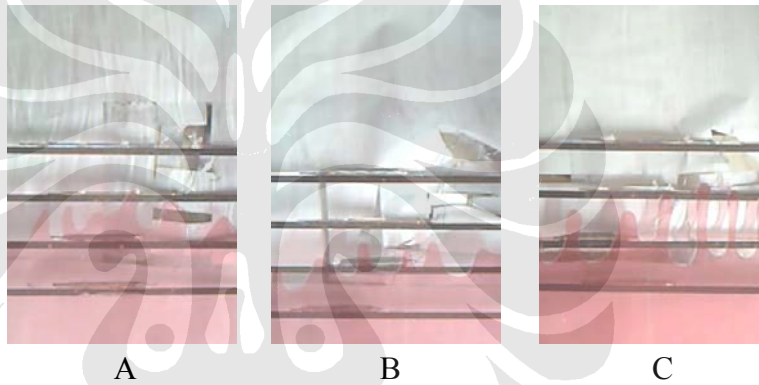


Gambar 4.26 Ketidakstabilan aliran *castor oil* ($dT/dx \geq 0$) pada $b = 0.8$ mm, $\alpha = 15$ derajat, $t = 30$ detik.



Gambar 4.27 Grafik pola aliran *Castor oil* dengan $dT/dx \geq 0$ yang berbeda. Ket. : Hitam $dT/dx = 0$, Hijau = $10 \text{ }^\circ\text{C/cm}$, Merah = $4 \text{ }^\circ\text{C/cm}$, Biru = $2.5 \text{ }^\circ\text{C/cm}$.

Berikutnya perhatikan perbedaan ketidakstabilan aliran yang terjadi pada fluida *castor oil* dengan kondisi dT/dx dan α yang tetap pada kondisi b yang berubah.



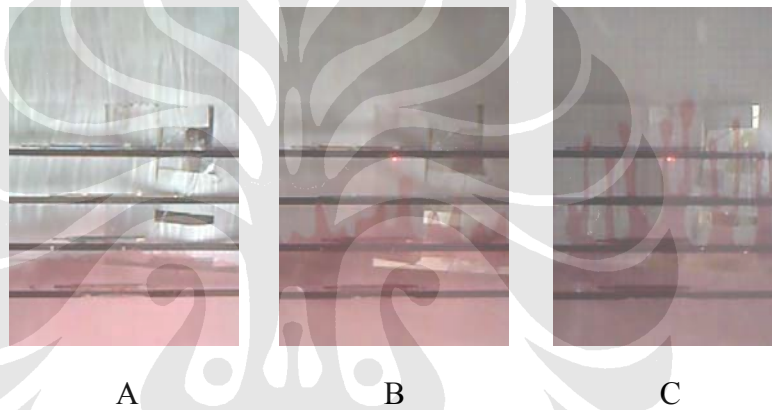
Gambar 4.28 Ketidakstabilan fluida *castor oil* pada $dT/dx \geq 0$ dengan $\alpha = 15$ derajat dan $t = 50$ detik. A = 0.8mm , B = 1.2mm , C = 1.5 mm .

Pada gambar di atas terlihat, aliran pada gambar C memiliki ($\sum \ell_i$) yang lebih banyak serta y dan ($\hat{\theta}$) yang paling besar karena lebar celah yang dimiliki paling besar dibandingkan dengan gambar A dan B. Di bawah ini contoh grafik pola aliran pada kondisi yang serupa.



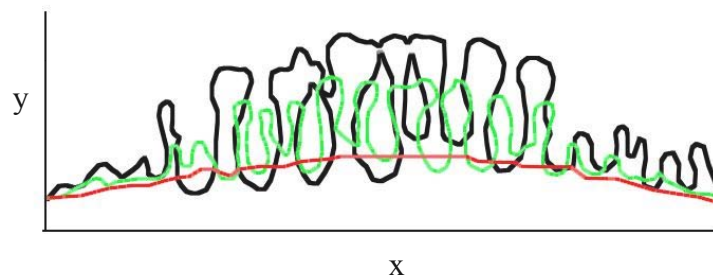
Gambar 4.29 Grafik pola aliran *castor oil* pada $dT/dx \geq 0$ dengan b yang berbeda. Ket. : Merah = 0.8 mm , Kuning = 1.2 mm , Hitam = 1.5 mm .

Di bawah ini adalah gambar aliran *castor oil* dengan kemiringan sudut yang berbeda pada lebar celah yang tetap. Dimana terlihat fenomena yang sama terjadi karena α yang semakin besar dan pengaruh gaya gravitasi yang mempengaruhi aliran fluida berbanding lurus dengan ketidakstabilan aliran yang terjadi. Dari gambar A sampai dengan gambar C terlihat perbedaan y dan $(\hat{\theta})$ yang sangat jelas, dimana pada gambar C memperlihatkan nilai yang paling besar dengan laju aliran yang lebih cepat. Dengan waktu yang sama aliran pada gambar C telah melewati *heater* keempat yang temperatur nya paling tinggi, sehingga saat itu viskositas aliran menjadi berkurang sehingga memperbesar laju aliran fluida *castor oil*.



Gambar 4.30 Ketidakstabilan aliran Castor oil pada $dT/dx \geq 0$ dengan α yang berbeda dan $b = 0.8\text{mm}$. A = 15 derajat, B = 45 derajat, C = 75 derajat.

Untuk kondisi yang serupa diperlihatkan contoh grafik pola aliran fluida di bawah ini.



Gambar 4.31 Grafik pola aliran *castor oil* pada $dT/dx \geq 0$ dengan α yang berbeda. Ket. : Merah = 15 derajat, Hijau = 45 derajat, Hitam = 75 derajat.

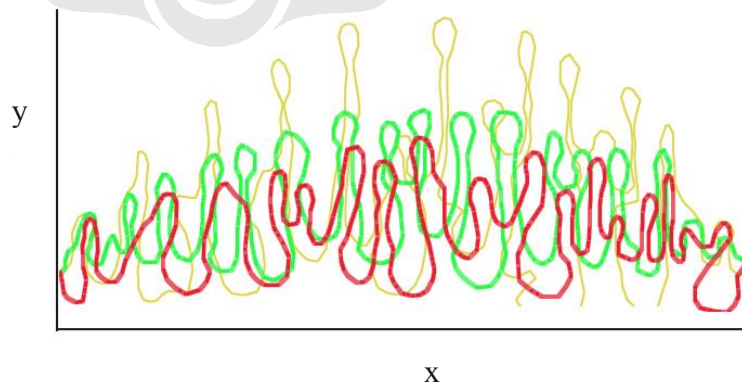
c. *SAE 30*

Disini juga dapat dilihat perbedaan ketidakstabilan aliran *SAE 30* dengan cara yang sama seperti *glycerin* dan *castor oil*. Di bawah ini merupakan salah satu contoh gambar aliran *SAE 30* dengan dT/dx yang berbeda. Lebar celah yang diambil seesar 1.5 mm dengan kemiringan sudut 15 derajat pada $t = 30$ detik.



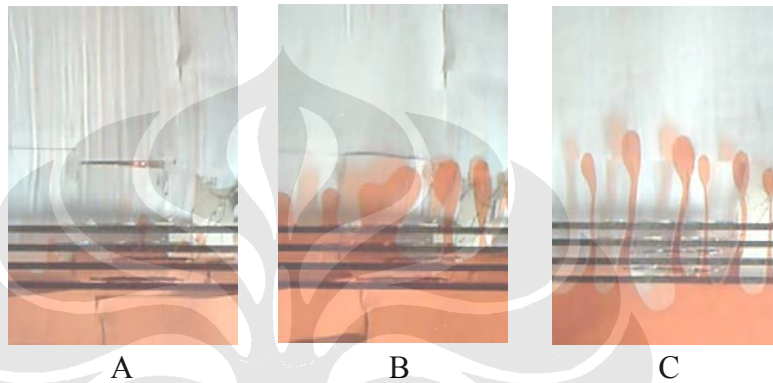
Gambar 4.32 Aliran *SAE 30* pada α dan b tetap, $dT/dx \geq 0$ yang berbeda.

Jika dilihat pada gambar di atas maka dapat dikatakan bahwa dengan semakin kecilnya jarak heater maka y dan $(\hat{\theta})$ akan semakin besar dengan $(\sum \ell_i)$ yang semakin kecil. Dengan semakin kecil jarak antar *heater* maka aliran akan melewati daerah yang memiliki temperatur yang lebih tinggi lebih cepat dibandingkan dengan jarak *heater* yang lebih besar. Fenomena yang berbeda akan tampak bila dibandingkan aliran fluida *SAE 30* pada kondisi lebar celah yang berubah dengan variabel lain yang tetap yaitu α dan dT/dx , pada t yang sama. Di bawah ini contoh grafik pada kondisi pola aliran tersebut.



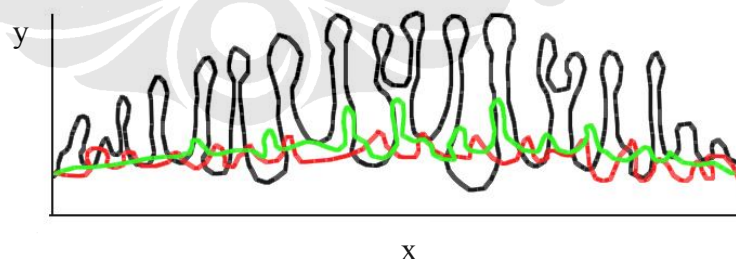
Gambar 4.33 Grafik pola aliran *SAE 30* dengan dT/dx yang berbeda. Ket. : Kuning = $10^\circ\text{C}/\text{cm}$, Hijau = $4^\circ\text{C}/\text{cm}$, Merah = $2.5^\circ\text{C}/\text{cm}$.

Dari gambar di bawah ini terlihat bahwa y dan $(\hat{\theta})$ bernilai besar dengan bertambahnya lebar celah kaca. Dengan lebar celah yang lebih besar (gambar C) maka hambatan aliran lebih kecil sehingga laju aliran menjadi lebih cepat sehingga panjang gelombang ($\sum \ell_i$) yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan gambar B tetapi lebih besar dibandingkan dengan gambar A yang memiliki lebar celah yang paling kecil.



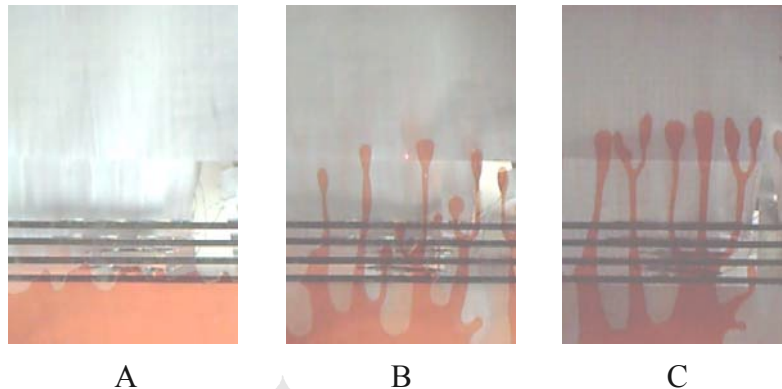
Gambar 4.34 Ketidakstabilan aliran *SAE* 30 pada medan gradien temperatur positif dengan b yang berbeda. A = 0.8mm, B = 1.2mm, C = 1.5mm.

Berikutnya adalah contoh grafik pola aliran yang terjadi pada fluida *SAE* 30 pada kondisi yang serupa dengan di atas.



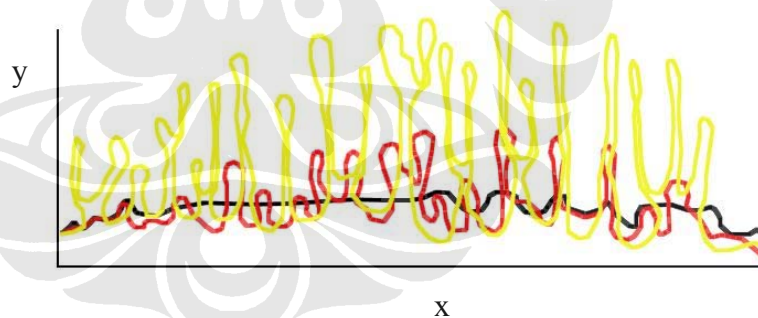
Gambar 4.35 Grafik pola aliran *SAE* 30 dengan b yang berbeda. Ket. : Hijau = 0.8 mm, Merah = 1.2 mm, Hitam = 1.5 mm.

Sebagaimana halnya dengan dua fluida viskos sebelumnya, maka bisa dilihat juga ketidakstabilan aliran pada kondisi perubahan kemiringan sudut dengan variabel lainnya tetap dan $t = 10$ detik.



Gambar 4.36 Ketidakstabilan aliran *SAE 30* medan gradien temperatur positif dengan perubahan kemiringan sudut. A = 15 derajat, B = 45 derajat, C = 75 derajat.

Adapun contoh grafik untuk kondisi yang serupa dengan aliran fluida *SAE* di atas ditunjukkan pada gambar di bawah ini. Dimana terlihat jelas perbedaan tinggi gelombang yang terbentuk. Hampir seluruh fluida mengalami fenomena yang sama yaitu tinggi gelombang yang dihasilkan semakin besar ketika kemiringan sudut semakin besar.



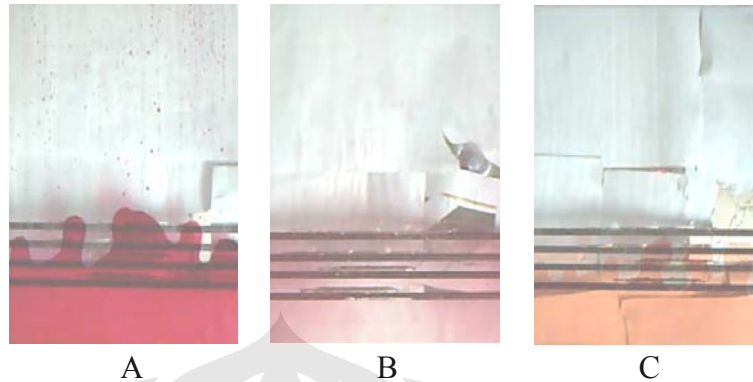
Gambar 4.37 Grafik pola aliran *SAE 30* dengan α yang berbeda pada medan gradien temperatur positif. Ket. : Hitam = 15 derajat, Merah = 45 derajat, Kuning = 75 derajat.

4.3 ANALISA VISUALISASI ALIRAN ANTAR FLUIDA

4.3.1 Visualisasi pada medan gradien temperatur negatif

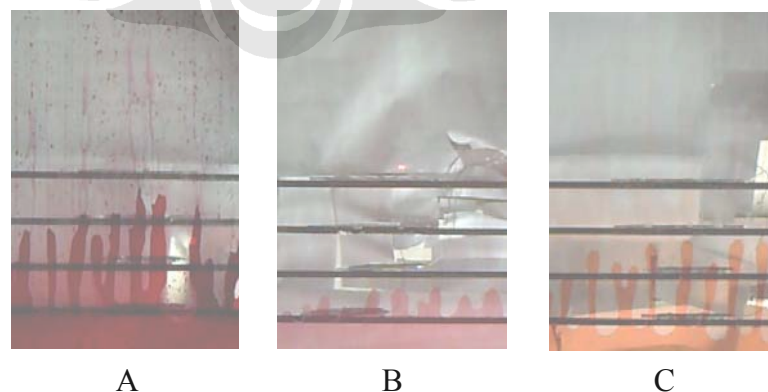
Disini akan dilihat bagaimana ketidakstabilan aliran dari fluida-fluida yang memiliki viskositas yang berbeda pada kondisi tertentu dan melewati daerah dengan temperatur yang menurun. Di bawah ini ditunjukkan contoh perbandingan

fenomena aliran pada kondisi kemiringan sudut, lebar celah dan jarak heater yang sama pada masing-masing fluida viskos.

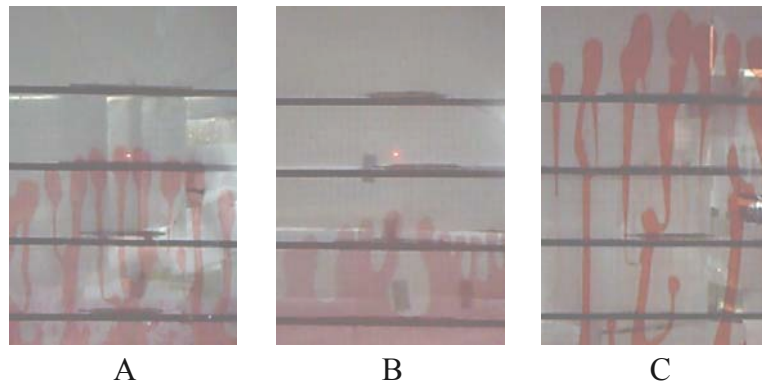


Gambar 4.38 Perbandingan ketidakstabilan aliran dengan $\alpha = 15$ derajat, $b = 0.8$ mm, $t = 30$ detik, A = *glycerin*, B = *castor oil*, C = *SAE 30*.

Pada gambar di atas terlihat fluida *castor oil* tidak menampilkan tanda-tanda ketidakstabilan seperti *glycerin* dan *SAE 30*. Dari tabel sifat fluida diketahui bahwa *castor oil* memiliki nilai viskositas yang lebih kecil, sehingga secara teori *castor oil* lebih mudah untuk mengalami ketidakstabilan aliran dibandingkan dengan *glycerin* ketika terkena pengaruh temperatur. Tetapi eksperimen di lapangan menunjukkan bahwa *glycerin* lebih tidak tahan terhadap pengaruh temperatur sehingga lebih mudah mengalami ketidakstabilan. Fenomena *castor oil* dan *glycerin* ini hampir terjadi pada berbagai kondisi aliran fluida viskos yang terkena pengaruh temperatur.

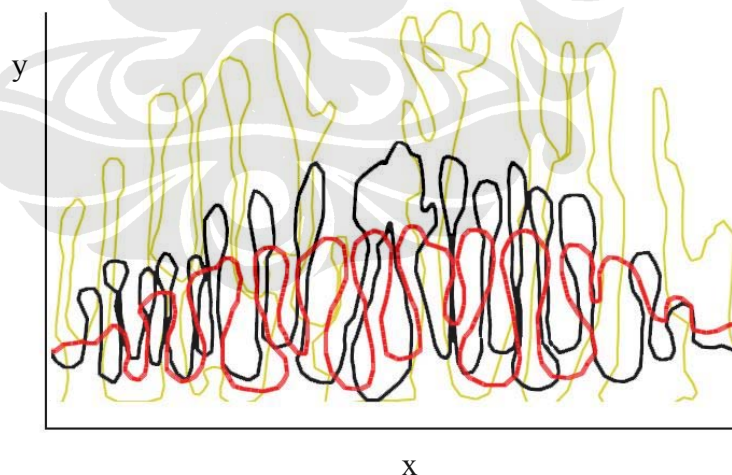


Gambar 4.39 Ketidakstabilan aliran fluida viskos dengan $\alpha = 45$ derajat, $b = 1.2$ mm, $t = 10$ detik. A = *glycerin*, B = *castor oil*, C = *SAE 30*.



Gambar 4.40 Ketidakstabilan aliran fluida viskos dengan $\alpha = 75$ derajat, $b = 1.5$ mm, $t = 10$ detik. A = *glycerin*, B = *castor oil*, C = *SAE 30*.

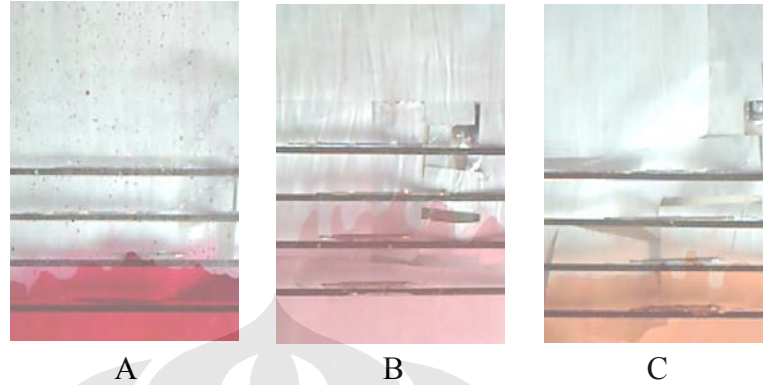
Dari gambar di atas yaitu pada jarak heater 8 cm, terlihat bahwa *SAE 30* yang memiliki nilai viskositas paling kecil memiliki y dan $(\hat{\theta})$ paling besar dengan bentuk gelombang yang lebih acak dibandingkan dengan *castor oil* dan *glycerin*. Di bawah ini ditunjukkan grafik perbandingan pola aliran antar fluida pada kondisi α , b dan t yang sama. Dari gambar tersebut terlihat fluida *SAE* memiliki y dan $(\hat{\theta})$ paling besar karena nilai viskositas nya paling kecil.



Gambar 4.41 Grafik perbandingan pola aliran antar fluida pada kondisi $\alpha = 75$ derajat, $b = 1.5$ mm, $t = 10$ detik. Hitam = *glycerin*, merah = *castor oil*, kuning = *SAE 30*.

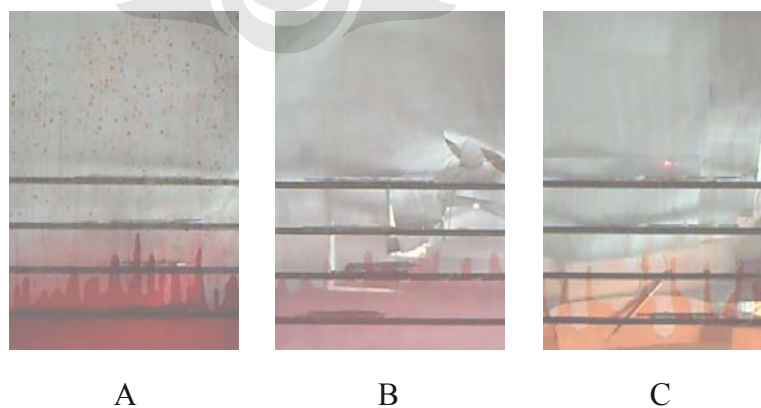
4.3.2 Visualisasi pada medan gradien temperatur positif

Selanjutnya dapat dilihat kondisi yang berbeda dari aliran fluida viskos yang melewati daerah dengan perubahan temperatur meninggi.



Gambar 4.42 Perbandingan ketidakstabilan aliran medan gradien temperatur positif dengan $\alpha = 15$ derajat, $b = 0.8$ mm, $t = 50$ detik, A = *glycerin*, B = *castor oil*, C = *SAE 30*.

Dari gambar di atas terlihat fenomena yang berbeda terjadi dibandingkan dengan kondisi gradien temperatur negatif pada subbab sebelumnya. Disini terlihat semua fluida viskos telah mengalami ketidakstabilan aliran dengan terbentuknya gunung dan lembah pada permukaan aliran. *Glycerin* memiliki y dan $(\hat{\theta})$ paling kecil jika dilakukan pengukuran sesuai dengan aturan definisi gelombang. Secara teori y dan $(\hat{\theta})$ paling besar akan dimiliki oleh *SAE 30* pada kondisi yang sama karena nilai viskositas yang paling kecil. Tetapi dari gambar di atas terlihat *castor oil* yang memiliki y dan $(\hat{\theta})$ serta $(\sum \ell_i)$ yang paling besar.



Gambar 4.43 Ketidakstabilan aliran fluida viskos medan gradien temperatur positif dengan $\alpha = 45$ derajat, $b = 1.2$ mm, $t = 15$ detik. A = *glycerin*, B = *castor oil*, C = *SAE 30*.

Pada gambar di atas, y , $(\hat{\theta})$ dan $(\sum \ell_i)$ telah dapat diukur untuk dimasukkan dalam perhitungan. Dari gambar juga bisa dilihat fluida SAE 30 memiliki y dan $(\hat{\theta})$ yang lebih besar dibandingkan dengan glycerin dan castor oil. Berikut ini ditampilkan grafik perbandingan pola aliran dari ketiga fluida tersebut pada kondisi yang sama.



Gambar 4.44 Grafik perbandingan pola aliran antar fluida medan gradien temperatur positif pada kondisi $\alpha = 45$ derajat, $b = 1.2$ mm, $t = 10$ detik. Hitam = glycerin, merah = castor oil, kuning = SAE 30.

4.4 HASIL PERHITUNGAN DAN GRAFIK PERKEMBANGAN ALIRAN

Setelah data dibagi menjadi beberapa range waktu sesuai dengan laju aliran melewati *heater*, maka selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan besarnya t^* , ℓ^* , y , $(\hat{\theta})$, $(\sum \ell_i)$ dan W , dengan cara mengukur langsung dari data dengan skala yang terpasang pada depan kaca yang dapat dilihat pada data. Perhitungan dibagi menjadi dua yaitu perhitungan pada fluida dengan gradien temperatur negatif dan perhitungan pada fluida dengan gradien temperatur positif. Karena banyaknya data yang ada, tidak semua akan dicantumkan pada bab ini dan hanya diambil beberapa sebagai contoh perhitungan. Selebihnya hasil perhitungan dapat dilihat pada bagian lampiran.

4.4.1 Perhitungan pada medan gradien temperatur negatif.

Di bawah ini akan ditunjukkan beberapa hasil perhitungan dari tiga fluida viskos yang digunakan pada eksperimen ini yaitu *glycerin*, *castor oil* dan *SAE 30*. hasil perhitungan ditampilkan berupa tabel dan grafik, diambil beberapa sebagai contoh disebabkan banyaknya data yang ada.

a. *Glycerin*

Dari data yang diperoleh dapat dilihat kapan aliran fluida *glycerin* telah mengalami ketidakstabilan dan telah dapat diukur untuk mendapatkan hasil perhitungan. Sebelumnya dihitung dahulu besar nilai ℓ^* yang merupakan skala panjang dan t^* yang merupakan skala waktu dari masing-masing aliran pada setiap kemiringan sudut dan lebar celah. Adapun rumus nya telah disebutkan pada bab 2 mengenai dasar teori. Berikut ini ditampilkan contoh perhitungan aliran *glycerin* pada salah satu kemiringan sudut dan lebar celah.

✚ Data pada $\alpha = 15$ derajat, $b = 0.8$ mm :

$$g = 9,8 [m / s^2]$$

$$\Delta\rho = \rho_{gly} - \rho_{udara}$$

$$= 1260 - 1.2$$

$$= 1258,8 kg / m^3$$

$$\mu_{gly} = 1,5 N \cdot sec / m^2$$

$$\mu_{ud} = 1,8 \cdot 10^{-5} N \cdot sec / m^2$$

$$\alpha = 15^\circ C$$

$$T = 0.063 N / m$$

$$b = 0,8 mm$$

didapat;

$$\ell^* = 2\pi\sqrt{3} \left[\frac{T}{g \sin \alpha \Delta\rho} \right]^{1/2}$$

$$t^* = 2\pi\sqrt{3} \frac{12(\mu_1 + \mu_2)T^{1/2}}{(g \sin \alpha \Delta\rho)^{3/2} b^2}$$

$$\ell^* = 2\pi\sqrt{3} \left[\frac{0.063}{9.81 \times \sin 15 \times 1258,8} \right]^{1/2}$$

$$t^* = 2\pi\sqrt{3} \frac{12(1,5 + 1,8 \cdot 10^{-5}) \times 0.0063^{1/2}}{(9.81 \times \sin 15 \times \Delta\rho)^{3/2} \times (0,8 \cdot 10^{-3})^2}$$

$$\ell^* = 0.0483 m$$

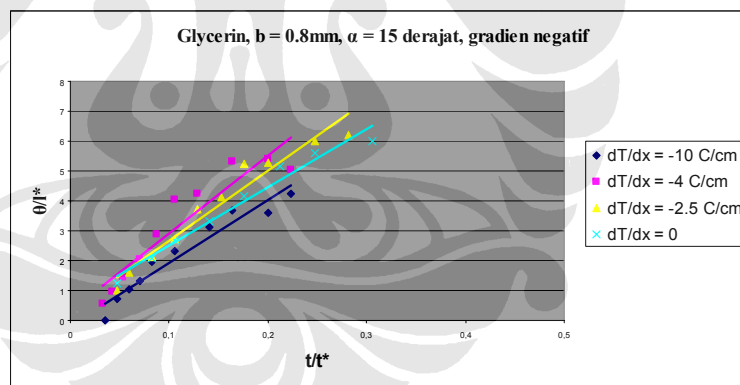
$$t^* = 425.59 s$$

Dari perhitungan di atas selanjutnya dimasukkan ke dalam tabel perhitungan dengan variabel lainnya yang telah dilakukan pengukuran pada gambar seperti y , W , $(\hat{\theta})$ dan $(\sum \ell_i)$. Di bawah ini ditampilkan satu contoh tabel perhitungan aliran fluida *glycerin* dengan kemiringan sudut dan lebar celah yang sama tetapi jarak *heater* yang berbeda.

Tabel 4.1 Data perubahan bentuk pada $dt/dx = -10\text{ }^\circ\text{C/cm}$, $\alpha = 15$ derajat, $b = 0.8\text{mm}$.

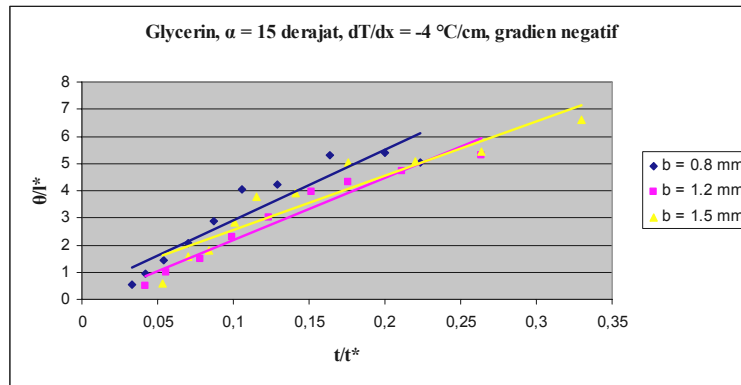
No.	t	t^*	l^*	$\sum l_i$	W	y	$\hat{\theta}$	t/t^*	$\hat{\theta}/l^*$
1.	15	425,59	0,048	0	58,78	0	0	0,035	0,000
2.	20	425,59	0,048	13,24	58,78	1,67	3,43	0,047	0,715
3.	25	425,59	0,048	12,6	58,78	2,93	5,05	0,059	1,052
4.	30	425,59	0,048	19,67	58,78	2,09	6,36	0,070	1,325
5.	35	425,59	0,048	18,04	58,78	5,35	9,37	0,082	1,952
6.	45	425,59	0,048	22,86	58,78	5,58	11,22	0,106	2,338
7.	60	425,59	0,048	25,59	58,78	8,64	14,9	0,141	3,104
8.	70	425,59	0,048	30,38	58,78	10,87	17,65	0,164	3,677
9.	85	425,59	0,048	28	58,78	11,32	17,27	0,200	3,598
10.	95	425,59	0,048	30,84	58,78	13,91	20,35	0,223	4,240

Dari tabel perhitungan aliran tak berotasi dapat dibuat satu contoh grafik yang menggambarkan karakteristik kecepatan aliran tak berotasi melewati medan gradien temperatur negatif dengan variasi jarak *heater*. Pada grafik di bawah ini ditampilkan perbandingan kecepatan aliran dengan medan gradien temperatur nol yang telah dilakukan pada eksperimen sebelumnya.

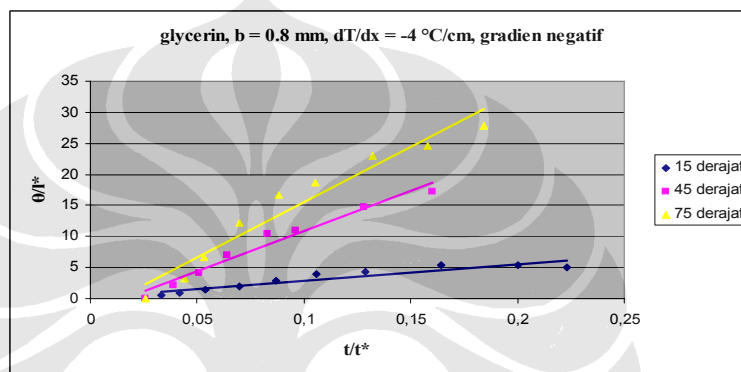


Gambar 4.45 Hubungan skala panjang dan skala waktu aliran *glycerin*

Adapun contoh grafik yang menggambarkan karakteristik kecepatan aliran *glycerin* pada lebar celah yang berbeda dengan kemiringan sudut dan jarak *heater* yang tetap dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 4.46 Hubungan skala panjang dan skala waktu aliran *glycerin* pada variasi lebar celah (b).



Gambar 4.47 Hubungan skala panjang dan skala waktu aliran *glycerin* pada variasi kemiringan sudut (α).

Gambar 4.47 menunjukkan karakteristik kecepatan aliran *glycerin* pada kemiringan sudut yang makin besar pada medan gradien temperatur negatif.

b. Castor oil

Sebelumnya kita juga hitung skala panjang (l^*) dan skala waktu (t^*) untuk fluida castor oil, seperti pada *glycerin*, untuk setiap kemiringan sudut dan lebar celah. Selanjutnya karena banyaknya data maka hanya akan ditampilkan satu contoh perhitungan untuk *castor oil* pada kemiringan sudut 15 derajat dan lebar celah 0.8 mm.

✚ Data castor oil pada $\alpha = 15$ derajat, $b = 0.8$ mm :

$$g = 9,8 [m / s^2]$$

$$\begin{aligned} \Delta\rho &= \rho_{cas} - \rho_{udara} \\ &= 960 - 1.2 \\ &= 958,8 kg / m^3 \end{aligned}$$

$$\mu_{cas} = 0,976 N.sec / m^2$$

$$\mu_{ud} = 1,8.10^{-5} N.sec / m^2$$

$$\alpha = 15^\circ C$$

$$T = 0.039 N / m$$

$$b = 0,8mm$$

didapat;

$$\ell^* = 2\pi\sqrt{3} \left[\frac{T}{g \sin \alpha \Delta\rho} \right]^{1/2} \quad t^* = 2\pi\sqrt{3} \frac{12(\mu_1 + \mu_2)T^{1/2}}{(g \sin \alpha \Delta\rho)^{3/2} b^2}$$

$$\ell^* = 2\pi\sqrt{3} \left[\frac{0.039}{9.81 \times \sin 15 \times 958,8} \right]^{1/2}$$

$$t^* = 2\pi\sqrt{3} \frac{12(0,976 + 1,8 \cdot 10^{-5}) \times 0.039^{1/2}}{(9.81 \times \sin 15 \times 958,8)^{3/2} \times (0,8 \cdot 10^{-3})^2}$$

$$\ell^* = 0.044 m$$

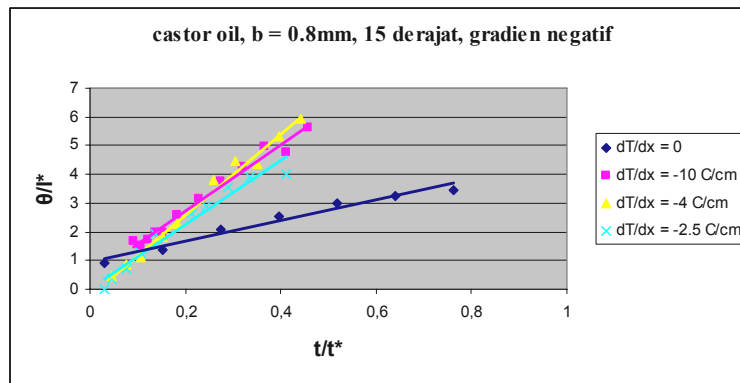
$$t^* = 327,282 s$$

Di bawah ini diberikan contoh tabel perhitungan dengan kemiringan sudut dan lebar celah yang sama dengan perubahan jarak heater.

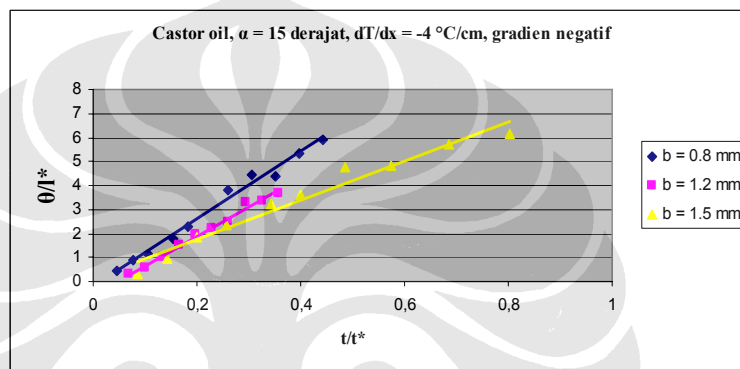
Tabel 4.2 Data perubahan bentuk castor oil pada $dt/dx = -10^\circ C/cm$, $\alpha = 15$ derajat, $b = 0.8mm$.

No.	t	t*	ℓ^*	$\sum \ell_i$	W	y	$\hat{\theta}$	t/t*	$\hat{\theta}/\ell^*$
1.	30	327,282	0,044	43,33	58,78	1,22	7,28	0,092	1,655
2.	35	327,282	0,044	36	58,78	1	6,66	0,107	1,514
3.	40	327,282	0,044	38,89	58,78	1,33	7,7	0,122	1,750
4.	45	327,282	0,044	39,02	58,78	1,85	8,81	0,137	2,002
5.	50	327,282	0,044	34,34	58,78	1,84	8,74	0,153	1,986
6.	60	327,282	0,044	37,36	58,78	3,69	11,31	0,183	2,571
7.	75	327,282	0,044	36,29	58,78	6,13	13,9	0,229	3,159
8.	90	327,282	0,044	37,94	58,78	7,73	16,6	0,275	3,773
9.	105	327,282	0,044	38,57	58,78	9,29	18,66	0,321	4,241
10.	120	327,282	0,044	41,96	58,78	10,89	21,87	0,367	4,971
11.	135	327,282	0,044	38,09	58,78	10,53	21,07	0,412	4,789
12.	150	327,282	0,044	43,52	58,78	13,04	24,71	0,458	5,616

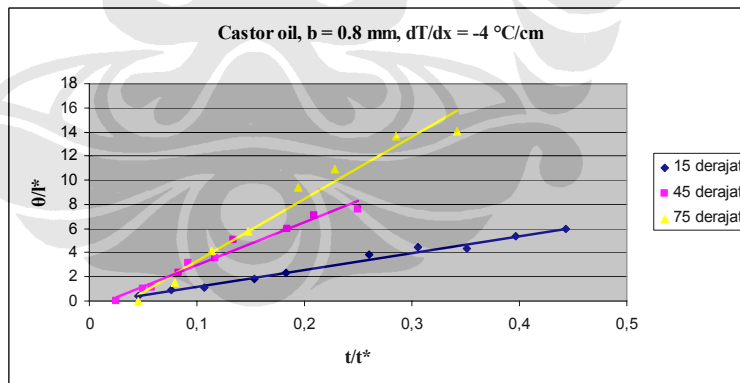
Selanjutnya dibuat grafik untuk perhitungan aliran tak beotasi di atas yang menggambarkan karakteristik aliran castor oil pada kondisi tersebut yang dibandingkan dengan kondisi aliran castor oil pada gradien temperatur sama dengan nol (gambar 4.48).



Gambar 4.48 Hubungan skala panjang dan skala waktu aliran *Castor oil*



Gambar 4.49 hubungan skala panjang dan skala waktu aliran *Castor oil* pada variasi lebar celah (b).



Gambar 4.50 Hubungan skala panjang dan skala waktu aliran *Castor oil* pada variasi kemiringan sudut (α).

c. *SAE 30*

Sama dengan dua fluida sebelumnya maka terlebih dahulu dihitung besarnya skala panjang (l^*) dan skala waktu (t^*) dari *SAE 30*. Adapun contoh perhitungannya adalah sebagai berikut.

Data pada $\alpha = 15$ derajat, $b = 0.8$ mm :

$$g = 9,8 [m / s^2]$$

$$\begin{aligned} \Delta\rho &= \rho_{SAE} - \rho_{udara} & \mu_{gly} &= 1,05 \times 10^{-1} N \cdot sec / m^2 & \alpha &= 15^{\circ} C \\ &= 890 - 1.2 & & & T &= 0.035 N / m \\ &= 888,8 kg / m^3 & \mu_{ud} &= 1,8 \cdot 10^{-5} N \cdot sec / m^2 & b &= 0,8 mm \end{aligned}$$

didapat;

$$\ell^* = 2\pi\sqrt{3} \left[\frac{T}{g \sin \alpha \Delta\rho} \right]^{1/2} \quad t^* = 2\pi\sqrt{3} \frac{12(\mu_1 + \mu_2)T^{1/2}}{(g \sin \alpha \Delta\rho)^{3/2} b^2}$$

$$\ell^* = 2\pi\sqrt{3} \left[\frac{0.035}{9.81 \times \sin 15 \times 888,8} \right]^{1/2}$$

$$t^* = 2\pi\sqrt{3} \frac{12(1,05 \cdot 10^{-1} + 1,8 \cdot 10^{-5}) \times 0.035^{1/2}}{(9.81 \times \sin 15 \times 888,8)^{3/2} \times (0,8 \cdot 10^{-3})^2}$$

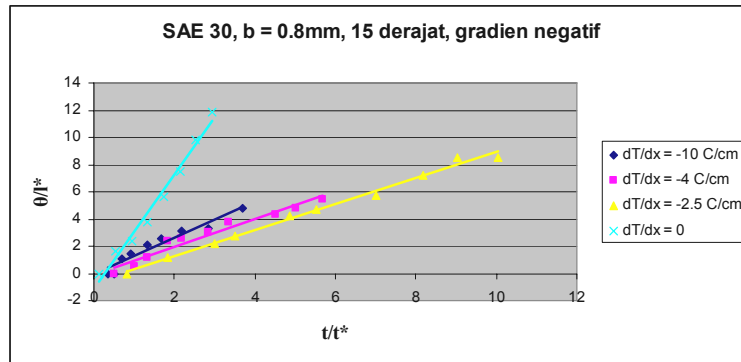
$$\ell^* = 0.043 \text{ m} \quad t^* = 29,902 \text{ s}$$

Hasil perhitungan di atas dimasukkan ke dalam tabel bersama data pengukuran gelombang.

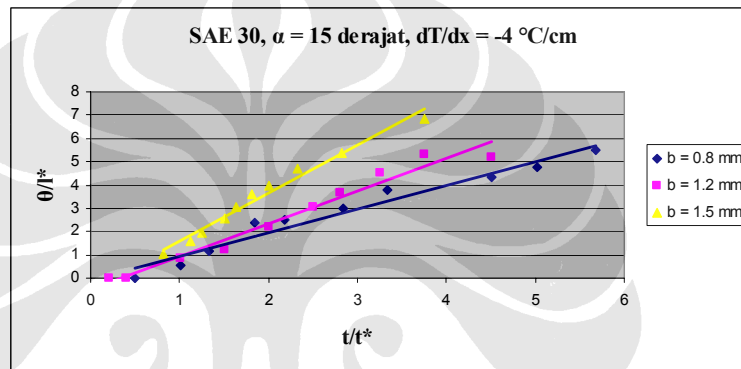
Tabel 4.3 Data perubahan bentuk SAE 30 pada $dt/dx = -10$ °C/cm, $\alpha = 15$ derajat, $b = 0.8$ mm.

No.	t	t*	ℓ^*	$\sum \ell_i$	W	y	$\hat{\theta}$	t/t*	$\hat{\theta}/\ell^*$
1.	10	29,902	0,043	0	58,78	0	0	0,334	0,000
2.	15	29,902	0,043	0	58,78	0	0	0,502	0,000
3.	21	29,902	0,043	14,82	58,78	2,74	4,73	0,702	1,100
4.	27	29,902	0,043	15,16	58,78	3,90	6,26	0,903	1,456
5.	40	29,902	0,043	19,67	58,78	5,82	9,04	1,338	2,102
6.	50	29,902	0,043	22,26	58,78	7,79	11,01	1,672	2,561
7.	65	29,902	0,043	23,14	58,78	10,26	13,57	2,174	3,156
8.	85	29,902	0,043	23,57	58,78	10,86	14,39	2,843	3,347
9.	110	29,902	0,043	32,38	58,78	14,73	20,67	3,679	4,807

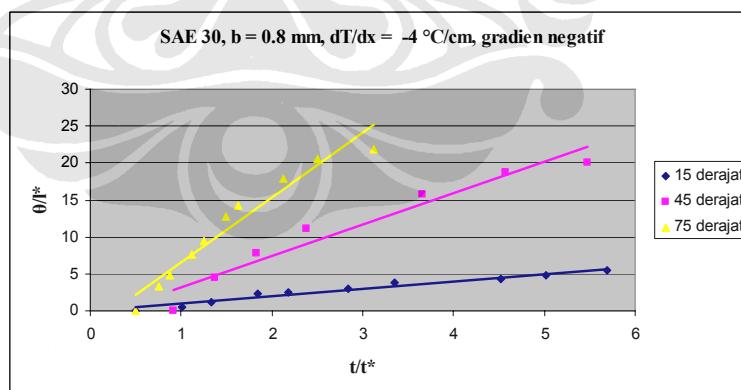
Dari hasil perhitungan di atas, selanjutnya dibuat grafik yang menggambarkan karakteristik kecepatan aliran tersebut dengan perubahan jarak heater (gambar 4.49).



Gambar 4.51 Hubungan skala panjang dan skala waktu aliran SAE 30



Gambar 4.52 Hubungan skala panjang dan skala waktu aliran SAE 30 pada variasi lebar celah (b).



Gambar 4.53 Hubungan skala panjang dan skala waktu aliran SAE 30 pada variasi kemiringan sudut (α).

4.4.2 Perhitungan pada medan gradien temperatur positif.

Semua variabel pada kondisi ini sama dengan kondisi pada medan gradien temperatur negatif, baik itu kemiringan sudut, lebar celah dan jarak heater yang digunakan. Tetapi satu hal yang membedakannya adalah perubahan temperatur yang semakin tinggi atau medan gradien temperatur nya bernilai positif.

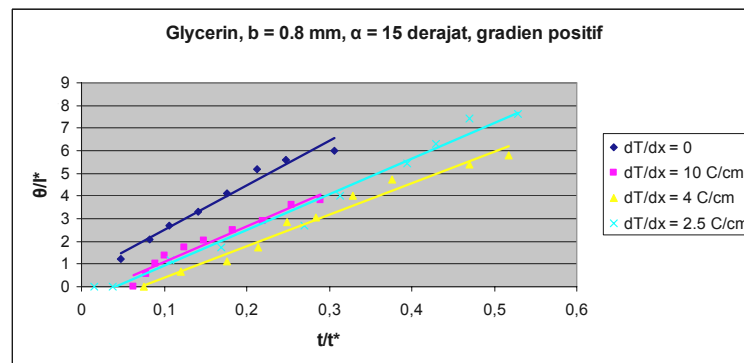
a. Glycerin

Adapun besar nilai skala panjang dan skala waktu sama dengan kondisi pada medan gradien temperatur negatif. Selanjutnya akan ditunjukkan contoh tabel perhitungan dari kondisi aliran pada kemiringan sudut 15 derajat dan lebar celah 0.8 mm.

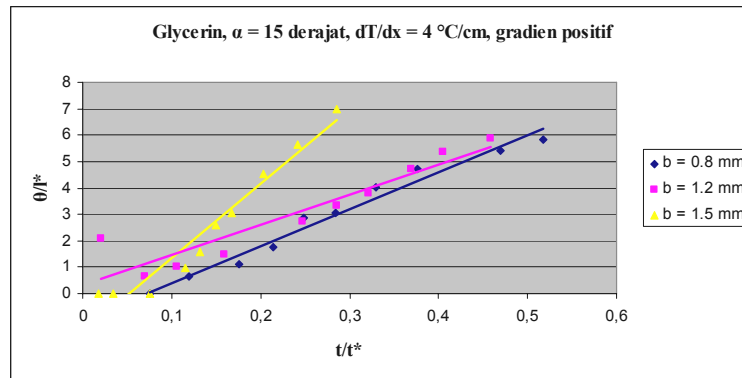
Tabel 4.4 Data perubahan bentuk Glycerin pada $dt/dx = 10 \text{ }^\circ\text{C/cm}$, $\alpha = 15$ derajat, $b = 0.8\text{mm}$.

No.	t	t*	l^*	$\sum l_i$	W	y	$\hat{\theta}$	t/t*	$\hat{\theta}/l^*$
1.	27	425,59	0,048	0	58,78	0	0	0,063	0,000
2.	33	425,59	0,048	2,51	58,78	1,37	2,60	0,078	0,542
3.	38	425,59	0,048	3,25	58,78	2,87	4,91	0,089	1,023
4.	43	425,59	0,048	5,88	58,78	3,65	6,54	0,101	1,363
5.	53	425,59	0,048	9,45	58,78	5,32	8,37	0,125	1,744
6.	63	425,59	0,048	11,9	58,78	6,83	9,69	0,148	2,019
7.	78	425,59	0,048	15,83	58,78	8,64	11,84	0,183	2,467
8.	93	425,59	0,048	18,84	58,78	9,85	13,99	0,219	2,915
9.	108	425,59	0,048	24,58	58,78	12,05	17,23	0,254	3,590
10.	123	425,59	0,048	26,17	58,78	12,54	18,25	0,289	3,802

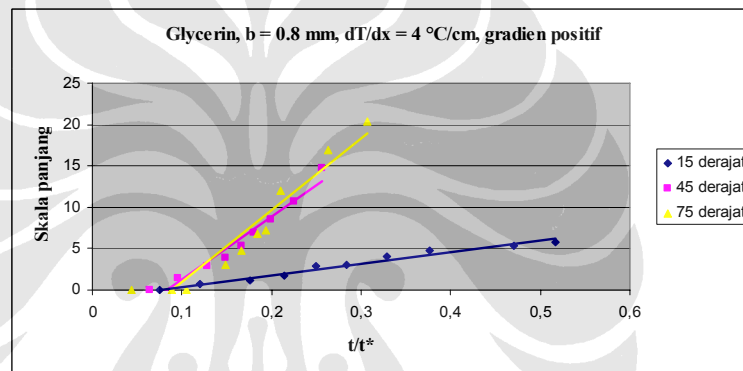
Adapun untuk menggambarkan kondisi karakteristik kecepatan aliran tersebut maka dapat dibuat satu contoh grafik sebagai berikut (gambar 4.54).



Gambar 4.54 Hubungan skala panjang dan skala waktu aliran *Glycerin* pada medan gradien temperatur positif.



Gambar 4.55 Hubungan skala panjang dan skala waktu aliran *Glycerin* pada variasi lebar celah (b) pada medan gradien temperatur positif.



Gambar 4.56 Hubungan skala panjang dan skala waktu aliran *Glycerin* pada variasi kemiringan sudut (α) melewati medan gradien temperatur positif.

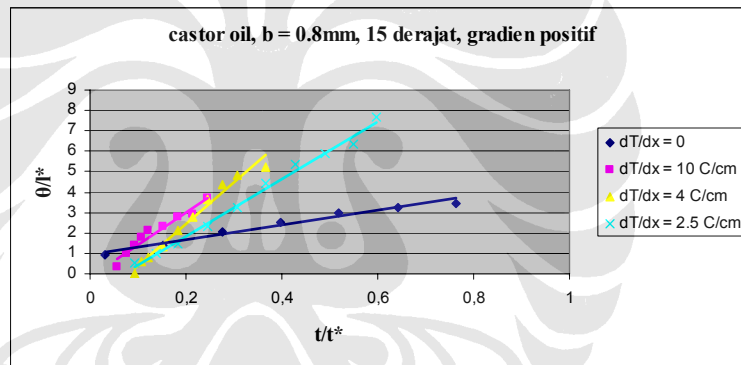
b. *Castor oil*

Disini juga tidak akan ditampilkan contoh hasil perhitungan skala panjang dan skala waktu karena hasilnya sama dengan kondisi pada medan gradien temperatur negatif. Di bawah ini adalah contoh tabel perhitungan perubahan bentuk *castor oil* untuk kondisi aliran dengan kemiringan sudut 15 derajat dan lebar celah 0.8 mm, dengan perubahan jarak heater.

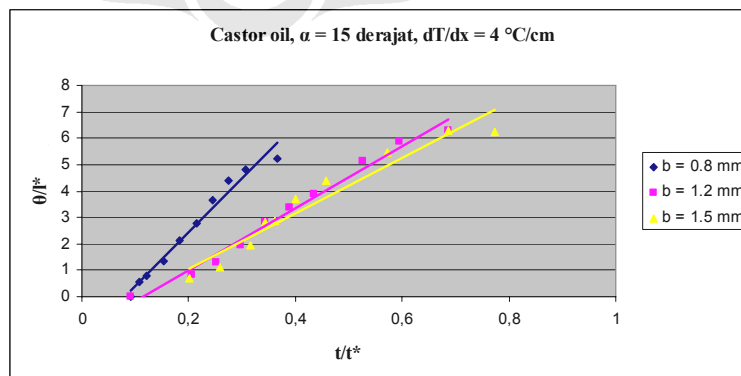
Tabel 4.5 Data perubahan bentuk Castor oil pada $dt/dx = 10\text{ }^\circ\text{C/m}$, $\alpha = 15$ derajat, $b = 0.8\text{mm}$.

No.	t	t^*	l^*	$\sum l_i$	W	y	$\hat{\theta}$	t/t^*	$\hat{\theta}/l^*$
1.	18	327,282	0,044	11,52	58,78	0,83	1,52	0,055	0,346
2.	25	327,282	0,044	14,57	58,78	1,75	4,35	0,076	0,989
3.	30	327,282	0,044	14,21	58,78	3,21	6,23	0,092	1,416
4.	35	327,282	0,044	18,69	58,78	4,11	7,82	0,107	1,777
5.	40	327,282	0,044	20,72	58,78	5,28	9,26	0,122	2,105
6.	50	327,282	0,044	56,04	58,78	6,72	10,28	0,153	2,336
7.	60	327,282	0,044	28,33	58,78	8,10	12,11	0,183	2,752
8.	70	327,282	0,044	28,20	58,78	8,18	12,72	0,214	2,891
9.	80	327,282	0,044	32,91	58,78	11,14	16,27	0,244	3,698

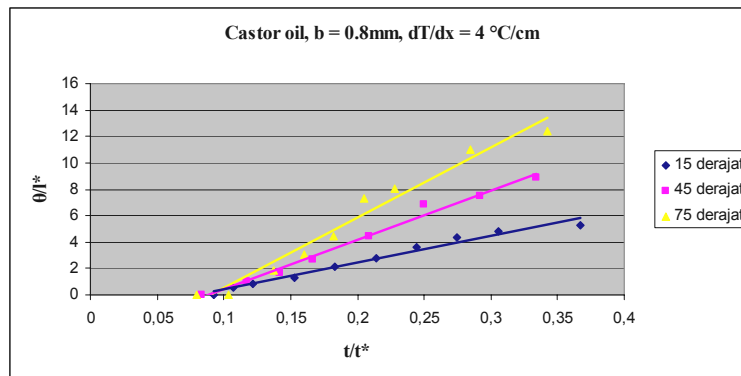
Kemudian dari hasil beberapa perhitungan seperti tabel di atas dibuat satu grafik untuk menggambarkan karakteristik alirannya serta dua contoh tabel tambahan pada b dan α berbeda.



Gambar 4.57 Hubungan skala panjang dan skala waktu aliran *Castor oil* pada medan gradien temperatur positif.



Gambar 4.58 Hubungan skala panjang dan skala waktu aliran *Castor oil* pada variasi lebar celah (b) dengan medan gradien temperatur positif.



Gambar 4.59 Hubungan skala panjang dan skala waktu aliran *Castor oil* pada variasi kemiringan sudut (α).

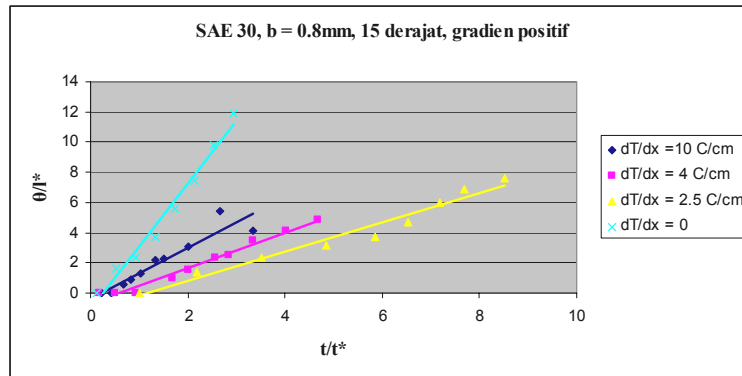
c. SAE 30

Disini kami langsung masuk ke dalam tabel perhitungan untuk fluida SAE 30. Kondisi yang diambil sama dengan kondisi pada contoh-contoh sebelumnya yaitu pada kemiringan sudut 15 derajat, lebar celah 0.8 mm dengan perbedaan jarak heater.

Tabel 4.6 Data perubahan bentuk SAE 30 pada $dt/dx = 10\text{ }^\circ\text{C/cm}$, $\alpha = 15$ derajat, $b = 0.8\text{mm}$.

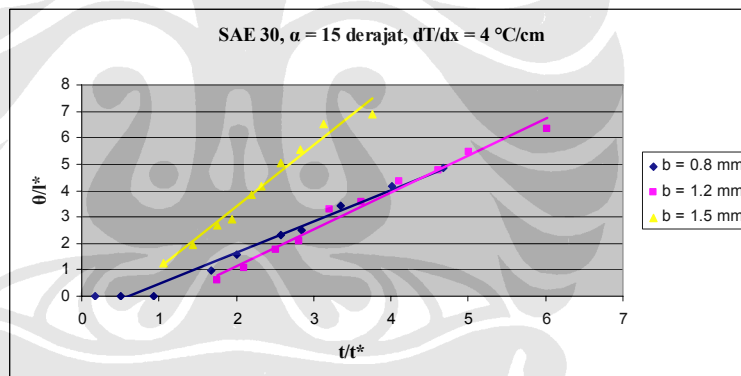
No.	t	t*	l^*	$\sum l_i$	W	y	$\hat{\theta}$	t/t*	$\hat{\theta}/l^*$
1.	7	29,902	0,043	0	58,78	0	0	0,234	0,000
2.	13	29,902	0,043	0	58,78	0	0	0,435	0,000
3.	20	29,902	0,043	2,54	58,78	1,09	2,43	0,669	0,552
4.	25	29,902	0,043	3,16	58,78	2,11	3,85	0,836	0,875
5.	31	29,902	0,043	4,08	58,78	2,88	5,82	1,037	1,323
6.	40	29,902	0,043	9,02	58,78	4,79	9,51	1,338	2,161
7.	45	29,902	0,043	10,02	58,78	5,59	10,10	1,505	2,296
8.	60	29,902	0,043	16,20	58,78	8,36	13,41	2,007	3,048
9.	80	29,902	0,043	19,53	58,78	10,12	24	2,675	5,455
10.	100	29,902	0,043	22,48	58,78	13,09	18,31	3,344	4,161

Di bawah ini ditunjukkan grafik untuk kondisi karakteristik kecepatan aliran fluida di atas.

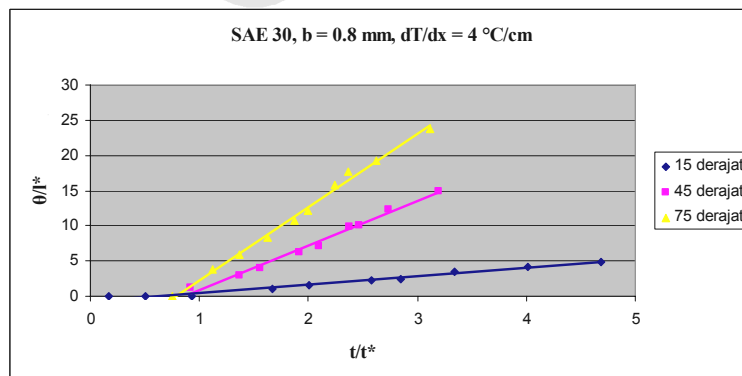


Gambar 4.60 Hubungan skala panjang dan skala waktu aliran *SAE 30* pada medan gradien temperatur positif.

Selanjutnya diberikan dua contoh grafik hasil perhitungan pada kondisi b dan α yang berbeda. Dimana terlihat gradien kecepatan aliran paling besar pada kondisi lebar celah terbesar dan kondisi aliran pada kemiringan sudut paling besar.



Gambar 4.61 Hubungan skala panjang dan skala waktu aliran *SAE 30* pada variasi lebar celah (b) dengan medan gradien temperatur positif.



Gambar 4.62 Hubungan skala panjang dan skala waktu aliran *Castor oil* pada variasi kemiringan sudut dengan medan gradien temperatur positif.

4.5 PEMBAHASAN

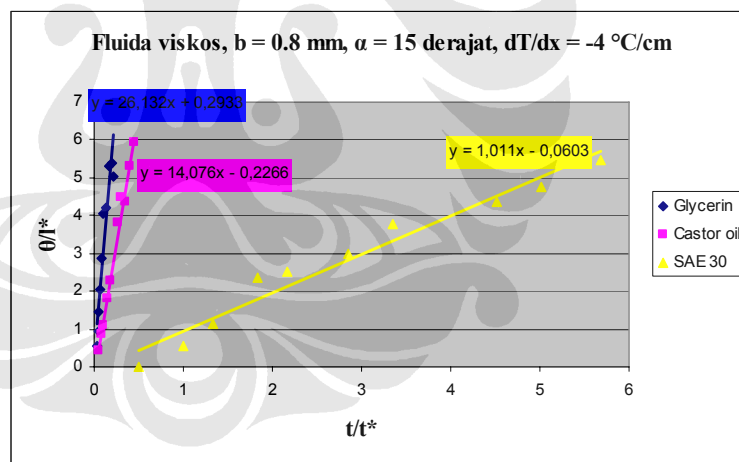
4.5.1 Aliran pada medan gradien temperatur negatif ($dT/dx \leq 0$)

Dari hasil yang telah ditampilkan di atas, baik itu secara visualisasi, perhitungan dan grafik dapat dilihat ada tidaknya pengaruh perubahan temperatur yang mempengaruhi aliran fluida viskos. Dari gambar 4.45 dan 4.48 ditunjukkan perbandingan karakteristik kecepatan aliran dengan perubahan medan temperatur negatif ($dT/dx \leq 0$) dan aliran yang tidak terdapat perubahan medan temperatur ($dT/dx = 0$) yang didapat dari eksperimen sebelumnya. Disini terlihat jelas pengaruh perubahan temperatur pada aliran yang ditandai dengan gradien garis pada grafik lebih besar dibandingkan dengan gradien garis aliran yang tidak terdapat perubahan temperatur. Ini dikarenakan adanya perubahan viskositas aliran karena panas yang diterima sehingga dalam waktu yang relatif lebih singkat panjang gelombang (y dan $\hat{\theta}$) yang dihasilkan lebih besar. Tetapi jika nilai gradien garis aliran dibandingkan antar perubahan jarak heater itu sendiri, maka jarak heater 5 cm memiliki gradien garis paling besar. Hal yang berbeda terlihat pada fluida *SAE 30*, dimana pada gambar 4.51 terlihat kondisi aliran tanpa adanya perubahan temperatur memiliki gradien garis yang lebih besar dibandingkan dengan aliran yang mendapat pengaruh perubahan temperatur. Jika melihat nilai viskositas fluida *SAE 30* yang paling kecil, maka seharusnya gradien garis aliran yang terkena pengaruh perubahan temperatur lebih besar dibandingkan yang tidak terdapat perubahan temperatur.

Dari gambar 4.46, 4.49, kita lihat bagaimana pengaruh perubahan temperatur terhadap perubahan lebar celah pada masing-masing fluida viskos. Fluida *Glycerin* dan *Castor oil* memiliki gradien garis yang besar pada grafik ketika lebar celah yang paling kecil. Dengan lebar celah yang lebih kecil maka panas yang mengalir antar lapisan fluida lebih cepat karena jarak yang lebih pendek, sehingga lebih cepat mengurangi nilai viskositas fluida. Tetapi tidak demikian halnya dengan fluida *SAE 30* yang mana terlihat pada gambar 4.52, gradien garis terbesar terdapat pada aliran dengan lebar celah yang terbesar ($b = 1.5$ mm). Dari dua jenis grafik aliran fluida *SAE 30* kita dapat melihat seolah-olah perubahan temperatur yang terjadi tidak memberikan pengaruh yang besar pada aliran tersebut. Apabila kita membandingkan dengan kondisi aliran pada $dT/dx =$

0, maka fenomena *Glycerin* dan *Castor oil* pada kondisi $dT/dx \leq 0$ berkebalikan dengan kondisi aliran tersebut. Pada kondisi $dT/dx = 0$, gradien kecepatan aliran akan lebih besar dengan bertambahnya lebar celah kaca, sedangkan pada kondisi $dT/dx \leq 0$ menunjukkan bahwa gradien kecepatan aliran semakin besar dengan berkurangnya lebar celah. Tidak demikian halnya dengan fluida SAE 30 dimana kondisi $dT/dx = 0$ hampir sama dengan kondisi $dT/dx \leq 0$ yaitu semakin lebar celah kaca maka gradien kecepatan aliran akan semakin besar.

Hal yang sama ditunjukkan pada gambar 4.47, 4.50 dan 4.53, dimana gradien kecepatan aliran semakin besar dengan bertambahnya kemiringan sudut kaca (α), karena gaya gravitasi yang mempengaruhi semakin besar. Khusus untuk fluida SAE 30, fenomena tersebut berbeda kondisinya dengan hasil dari eksperimen sebelumnya pada lebar celah yang sama ($b = 0.8 \text{ mm}$) dengan $dT/dx = 0$, dimana gradien garis yang terbesar berada pada kemiringan sudut 15 derajat. Dari beberapa contoh grafik hubungan Θ/l^* vs t/t^* , secara umum kondisi $dT/dx \leq 0$ sangat mempengaruhi ketidakstabilan aliran tak berotasi pada fluida viskos.



Gambar 4.63 Hubungan skala panjang dan skala waktu pada b , α dan dengan kondisi $dT/dx \leq 0$ yang sama.

Dari gambar 4.63 dapat dilihat bagaimana karakteristik aliran tak berotasi pada fluida viskos pada kondisi $dT/dx \leq 0$. Dari gambar di atas ditunjukkan bahwa *Glycerin* memiliki gradien kecepatan yang lebih besar dibandingkan dua fluida lainnya pada kondisi yang sama. Kondisi seperti yang ditunjukkan pada grafik sama dengan kondisi aliran dengan $dT/dx = 0$, dimana fluida yang memiliki viskositas lebih tinggi akan memiliki gradien kecepatan aliran yang lebih besar.

Secara umum jika melihat kondisi aliran pada $dT/dx \leq 0$ baik itu secara visualisasi maupun perhitungan grafik, maka dapat dikatakan bahwa perubahan temperatur yang terjadi sangat mempengaruhi laju dan ketidakstabilan aliran tak berotasi.

Dari eksperimen sebelumnya penulis mendapatkan hubungan antara θ/l^* dan t/t^* yang merupakan skala panjang dan skala waktu dari aliran tak berotasi, dengan memasukkan suatu konstanta aliran pada Hele Shaw yang diberikan dengan simbol *epsilon* (ζ). Adapun hubungan tersebut dapat ditulis sebagai berikut.

$$\frac{\theta}{l^*} = \zeta \frac{t}{t^*} \quad (4.1)$$

ζ pada persamaan 4.1 di atas merupakan fungsi dari berbagai parameter yang mempengaruhi aliran tak berotasi pada Hele Shaw Cell yaitu $\zeta = f(\mu, \rho, \sigma, \dots)$. Selanjutnya dari eksperimen yang telah dilakukan pada kondisi $dT/dx \leq 0$ dan diketahui bahwa medan gradien temperatur negatif ikut mempengaruhi laju ketidakstabilan aliran tak berotasi maka parameter yang mempengaruhi ζ sebagai suatu fungsi dapat ditambahkan satu parameter lagi yaitu dT/dx , sehingga dapat ditulis,

$$\zeta = f(\mu, \rho, \sigma, dT/dx)$$

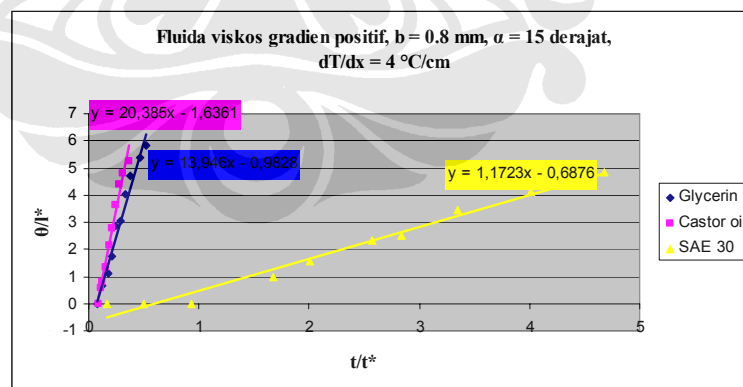
4.5.2 Aliran pada medan gradien temperatur positif ($dT/dx \geq 0$)

Selanjutnya dapat dilihat bagaimana fenomena aliran fluida viskos ketika melewati medan gradien temperatur positif. Bila dilihat pada gambar 4.54 yaitu aliran fluida *Glycerin* dan gambar 4.60, fluida *SAE 30*, pada kondisi dT/dx yang berubah, maka terlihat gradien aliran yang paling besar dimiliki oleh kondisi aliran tanpa adanya perubahan medan temperatur ($dT/dx = 0$). Fenomena ini berbeda dengan fluida castor oil dimana gradien kecepatan aliran terbesar dimiliki oleh aliran yang melewati medan dengan gradien temperatur dengan jarak heater 2 cm. Tetapi bila dilihat dari perubahan jarak heater itu sendiri, maka gradien kecepatan aliran terbesar terdapat pada jarak heater 2 cm, karena aliran lebih cepat terkena pengaruh panas dibandingkan dengan jarak heater yang lebih besar.

Selanjutnya kita lihat gambar grafik aliran dengan perubahan lebar celah, dimana pada gambar 4.55 dan 4.61 yaitu fluida *Glycerin* dan *SAE 30* terlihat

memiliki gradien kecepatan paling besar terjadi pada $b = 1.5$. Ini merupakan kondisi yang hampir sama dengan kondisi pada $dT/dx = 0$, karena fluida mengalir dari temperatur rendah ke temperatur tinggi, maka aliran mendapatkan pengaruh panas ketika melewati heater ketiga dan keempat. Sehingga awalnya aliran berada pada kondisi normal dan laju aliran sangat dipengaruhi oleh lebar celah kaca dan kemiringan sudut kaca, maka dengan bertambahnya lebar celah maka hambatan terhadap aliran lebih kecil dibandingkan dengan lebar celah yang lebih kecil. Keadaan berbeda ditunjukkan gambar 4.58 dengan fluida viskos *Castor oil*. Dimana gradien kecepatan paling besar ditunjukkan pada lebar celah terkecil yang sama dengan kondisi pada medan gradien temperatur negatif. Secara teori seharusnya fenomena yang sama terjadi pada *castor oil* sebagaimana *glycerin* dan *SAE 30*. Ini mungkin salah satu kesalahan dalam pengambilan data dikarenakan setting lebar celah secara manual yang menggunakan *spacer*.

Pada aliran dengan kemiringan sudut yang semakin membesar, semua fluida viskos disini menunjukkan fenomena yang sama yaitu gradien kecepatan paling besar ketika $\alpha = 75$ derajat. Secara umum aliran pada medan gradien temperatur positif ($dT/dx \geq 0$) tidak mendapatkan pengaruh panas yang besar seperti aliran pada medan gradien temperatur negatif sehingga gradien kecepatannya cenderung lebih kecil.



Gambar 4.64 Hubungan skala panjang dan skala waktu pada b , α dan dengan kondisi $dT/dx \geq 0$ yang sama.

Dari gambar 4.64 terlihat bahwa fluida *Glycerin* memiliki gradien kecepatan lebih kecil dibandingkan dengan *Castor oil* dan selalu lebih besar dari *SAE 30*. Bila dilihat dari beberapa contoh perhitungan grafik di atas, maka pada

kondisi aliran dengan $dT/dx \geq 0$, perubahan temperatur kurang mempengaruhi besarnya gradien kecepatan aliran, tetapi jika dilihat secara visualisasi laju aliran pada kondisi ini semakin cepat ketika telah melewati heater keempat dengan temperatur yang paling tinggi, dan juga tinggi gelombang yang terbentuk lebih besar ketika terkena temperatur yang lebih tinggi. Sehingga dapat dikatakan bahwa walaupun secara grafik pengaruh temperatur kurang terlihat seperti pada kondisi $dT/dx \leq 0$, tetapi secara visualisasi terlihat cukup mempengaruhi laju ketidakstabilan aliran. Maka konstanta ζ pada kondisi ini dapat ditulis $\zeta = f(\mu, \rho, \sigma, dT/dx)$.

