

## Konveksi Rayleigh Benard Melalui Pengamatan Kecepatan Gerak Molekul Air dan Jari-Jari Konveksi

Vistarani Arini Tiwow<sup>1)</sup>, Yusril Yusuf<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar (Kampus UNM Parangtambung Jl. Daeng Tata Makassar, Sulawesi Selatan, 90222)

email: vista.arini@yahoo.com

<sup>2)</sup> Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada (Sekip Utara, Bulaksumur, PO BOX BLS. 21, Yogyakarta, 55281)

email: yusril@ugm.ac.id

### Abstrak

Set up alat pengamatan fenomena konveksi Rayleigh-Benard telah dikembangkan. Alat ini terbuat dari kotak kaca yang dibatasi dua reservoir horizontal yaitu reservoir panas dan reservoir dingin. Media yang digunakan adalah air dicampur dengan serbuk gergaji kayu jati (SGKJ) untuk mengamati dinamika fluida. Hasil pengamatan memperlihatkan bahwa peningkatan perbedaan suhu ( $\Delta T$ ) berakibat pada peningkatan kecepatan gerak molekul air yang digambarkan dengan diagram percabangan. Peningkatan  $\Delta T$  juga berpengaruh pada ukuran jari-jari konveksi.

**Kata kunci :** konveksi Rayleigh Benard, kecepatan gerak molekul air, diagram percabangan, jari-jari konveksi

### Abstract

Set up observation instrument Rayleigh-Benard convection phenomenon have been developed. It is made of a glass box bounded two horizontal reservoir is a reservoir of hot and cold reservoir. The medium used is water mixed with teak wood sawdust (SGKJ) to observe the fluid dynamics. The observation shows that the increase in the temperature difference ( $\Delta T$ ) resulted in an increase in the velocity of the water molecules are depicted with a bifurcation diagram. Increasing  $\Delta T$  also affects the size of the radius of convection.

**Keywords :** Rayleigh Benard convection, velocity of the water molecules, bifurcation diagram, radius of convection

### 1. PENDAHULUAN

Konveksi Rayleigh-Benard (*Rayleigh-Benard Convection*) adalah jenis konveksi alami, yang terjadi di bidang horizontal pada lapisan fluida yang dipanaskan dari bawah, di mana fluida mengembangkan pola yang teratur dari sel konveksi yang dikenal sebagai sel Benard. Gaya apung dan gravitasi bertanggung jawab munculnya sel konveksi tersebut [1, 2]. Masalah konveksi fluida (masalah Rayleigh-Benard) adalah salah satu masalah hidrodinamika dasar yang dipelajari dalam stabilitas hidrodinamika dan teori perpindahan panas serta memiliki banyak aplikasi yang beragam, khususnya menyelidiki pergerakan skala besar dalam geofisika dan astrofisika [3].

Konveksi hanya terjadi pada fluida sehingga RBC (*Rayleigh-Benard Convection*) yang merupakan salah satu studi tentang aliran fluida tentunya dipengaruhi oleh sifat-sifat penting fluida yaitu kerapatan (*density*), viskositas (*viscosity*), muai panas (*thermal*

*expansivity*), difusi panas (*thermal diffusivity*) dan ketebalan fluida (*d*) serta perbedaan suhu antara dua plat ( $\Delta T$ ) [4].

Pengamatan fenomena RBC dengan menggunakan alat RBC, awalnya dilakukan oleh Suparso dan Rohman (2009) [5, 6]. Media yang digunakan adalah air. Namun, alat yang dibuat belum representatif, sehingga penelitian dilanjutkan oleh Vistarani dan Marni (2011) [7, 8] dengan mengembangkan alat RBC dan menambahkan komponen sensor suhu untuk mengontrol suhu pada lapisan bawah (reservoir panas). Media yang digunakan juga adalah air. Dengan demikian, alat RBC yang dibuat cukup representatif. Selanjutnya, penelitian dikembangkan lagi dengan mengganti media yaitu pengamatan RBC pada lapisan minyak goreng [9].

Penelitian ini merupakan bagian dari pengamatan RBC yang telah kami lakukan. Media yang digunakan adalah air dicampur serbuk gergaji kayu jati (SGKJ). Perbedaan

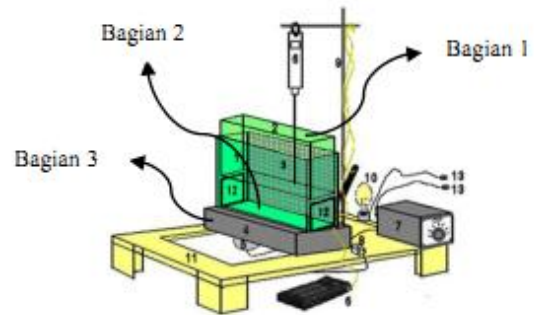
suhu antara dua plat atau antara reservoir panas dan reservoir dingin berakibat pada kecepatan gerak molekul air ( $v$ ) dan jari-jari konveksi ( $r$ ).

## 2. METODE PENELITIAN

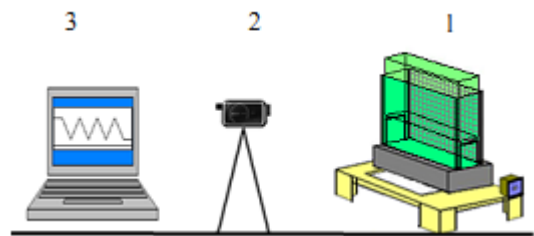
### Pengamatan RBC

Pengamatan RBC dijelaskan dengan memperhatikan Gambar 1 dan Gambar 2. Langkah-langkah awal yang dilakukan dapat dijelaskan dengan Gambar 1. Bagian 3 diisi air setinggi penyangga kayu. Bagian 2 diisi air setinggi penyangga potongan kaca dan dicampur dengan SGKJ. Kotak kaca tersebut diletakkan pada penyangga kayu bagian 3. Bagian 1 diisi air dan dimasukkan ke dalam bagian 2 hingga mencapai penyangga potongan kaca serta menyentuh permukaan air. Selain itu, pada bagian 1 ditambah es sesuai dengan suhu yang diinginkan. Air yang dicampur dengan SGKJ pada bagian 2 dibiarkan dalam keadaan tenang. Termometer yang dipasang pada reservoir dingin (plat atas) dan reservoir panas (plat bawah) dipastikan sama pada suhu ruang.

Kemudian *automatic thermo-controller* diatur sesuai suhu yang diinginkan dan sensornya dicelupkan ke dalam air pada plat bawah. Steker 1 dihubungkan dengan arus listrik untuk menyalakan lampu. Steker 2 dihubungkan dengan arus listrik kemudian saklar dihidupkan sehingga *heater* akan memanaskan plat bawah. Air pada plat atas distabilkan dengan menggunakan es. Ketika tercapai suhu tertentu pada plat bawah sesuai yang diatur pada *automatic thermo-controller*, maka saklar dimatikan untuk memutuskan arus listrik yang mengalir ke *heater* dan *automatic thermo-controller*. Pada kondisi tersebut, terlihat perbedaan suhu antara reservoir panas dan reservoir dingin. Selanjutnya, pengamatan fenomena konveksi direkam dengan durasi waktu  $\pm 1,5$  menit atau  $\pm 90$  sekon menggunakan *handycam* (Gambar 2). Langkah-langkah ini dilakukan kembali dengan memvariasikan ketebalan air. Hasil rekaman diamati melalui laptop dengan menggunakan *software windows media player* dan dianalisis (Gambar 3). Data yang diperoleh berupa data kecepatan gerak molekul air dan jari-jari konveksi.



Gambar 1. Alat pengamatan RBC [7, 8]



Gambar 2. Set-up alat pengamatan RBC [7, 8].

### Pengambilan Data Kecepatan Gerak Molekul Air

Data kecepatan gerak molekul air diperoleh dengan memutar kembali hasil rekaman pada *software windows media player*. Kemudian diamati pergerakan molekul yang diwakili oleh SGKJ. Salah satu partikel SGKJ dipilih dan diberi tanda dengan spidol untuk dua titik yang berbeda dengan memainkan tombol *play* dan *pause*. Jarak antara dua titik tersebut dan juga selang waktunya dicatat. Kecepatan gerak molekul air diperoleh dari hasil bagi jarak perpindahan ( $\Delta x$ ) dan selang waktu ( $\Delta t$ ).

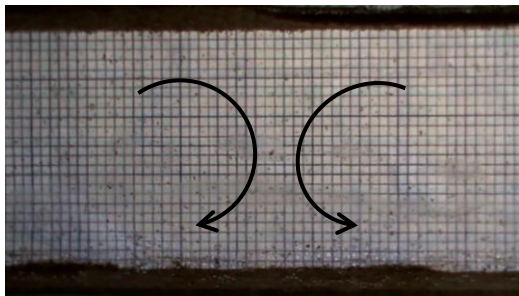
### Pengambilan Data Jari-Jari Konveksi

Data jari-jari konveksi diperoleh dengan cara mengamati pergerakan molekul air yang diwakili oleh SGKJ dan membuat titik-titik dengan spidol pada layar komputer atau laptop. Titik-titik tersebut dihubungkan sehingga membentuk garis. Pengukuran jari-jari konveksi dibatasi dalam arah dua dimensi saja sesuai dengan arah pengamatan. Untuk mendapatkan gambar yang baik, maka frekuensi *pause* lebih banyak. Ada dua cara menentukan jari-jari konveksi yaitu (1) menghitung jari-jari konveksi dari gambar yang membentuk setengah lingkaran atau juring lingkaran dan (2) menghitung jari-jari konveksi dari gambar yang membentuk elips.

Cara yang pertama menggunakan pendekatan sudut pusat lingkaran. Sedangkan cara yang kedua, panjang elips merupakan diameter lingkaran jika gerak partikel searah dengan pengamatan sehingga jari-jari lingkaran bisa diketahui. Persamaan yang digunakan untuk menghitung jari-jari konveksi dengan cara pertama yaitu :  $r = \frac{360^\circ}{2\pi\alpha} \times \text{panjang busur AB}$  dimana  $r$  jari-jari lingkaran (m) dan  $\alpha$  sudut pusat lingkaran.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pengamatan terhadap fenomena konveksi Rayleigh-Benard dilakukan dengan memvariasikan ketebalan air ( $d$ ). Media yang digunakan adalah air dicampur serbuk gergaji kayu jati dengan massa jenis SGKJ ( $\rho = 1,151 \text{ gr/cm}^3$ ) [10]. Hasil pengamatan cukup representatif (Gambar 3).



**Gambar 3.** Hasil pengamatan fenomena RBC.

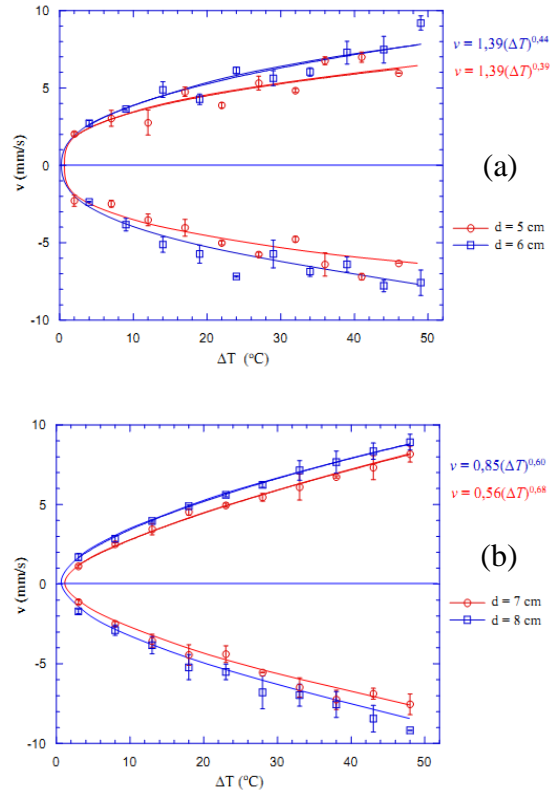
Dari hasil pengamatan fenomena RBC diperoleh informasi kecepatan gerak molekul air ( $v$ ) dan jari-jari konveksi ( $r$ ).

**Pengamatan Kecepatan Gerak Molekul Air**

Pengamatan terhadap kecepatan gerak molekul air menghasilkan diagram percabangan yang merupakan grafik hubungan antara kecepatan gerak molekul air ( $v$ ) terhadap perbedaan suhu ( $\Delta T$ ). Grafik untuk ketebalan air 5 cm – 8 cm diperlihatkan pada Gambar 4.

Dari grafik yang ditampilkan pada Gambar 4, dapat dijelaskan bahwa kecepatan gerak molekul air meningkat seiring dengan bertambahnya perbedaan suhu [10, 11]. Peningkatan kecepatan gerak molekul air berdasarkan persamaan  $v_{(d=5)} = 1,39 (\Delta T)^{0,39}$ ;  $v_{(d=6)} = 1,39 (\Delta T)^{0,44}$ ;  $v_{(d=7)} = 0,56 (\Delta T)^{0,68}$ ; dan  $v_{(d=8)} = 0,85 (\Delta T)^{0,60}$  untuk ketebalan air 5 cm – 8 cm. Jika dibandingkan dengan kajian

diagram percabangan, hasil ini sepadan dengan persamaan  $v \sim R^{0,5}$  [2] sehingga dapat diaplikasikan dengan suatu persamaan untuk peningkatan kecepatan karena pengaruh perbedaan suhu, yaitu  $v \sim (\Delta T)^{0,5}$ .



**Gambar 4.** Diagram percabangan untuk ketebalan air (a) 5 cm dan 6 cm, (b) 7 cm dan 8 cm.

Pada ketebalan air 5 cm–8 cm, hasil *fitting* grafik peningkatan kecepatan terhadap perbedaan suhu memiliki persamaan yang hampir sama, yaitu  $v \sim (\Delta T)^{0,4}$ ,  $v \sim (\Delta T)^{0,5}$ , dan  $v \sim (\Delta T)^{0,6}$ . Dengan demikian, peningkatan  $\Delta T$  berperan terhadap peningkatan  $v$  sehingga dapat dikatakan bahwa hasil pengamatan sesuai dengan teori.

**Tabel 1.** Konstanta-konstanta fisis air [1].

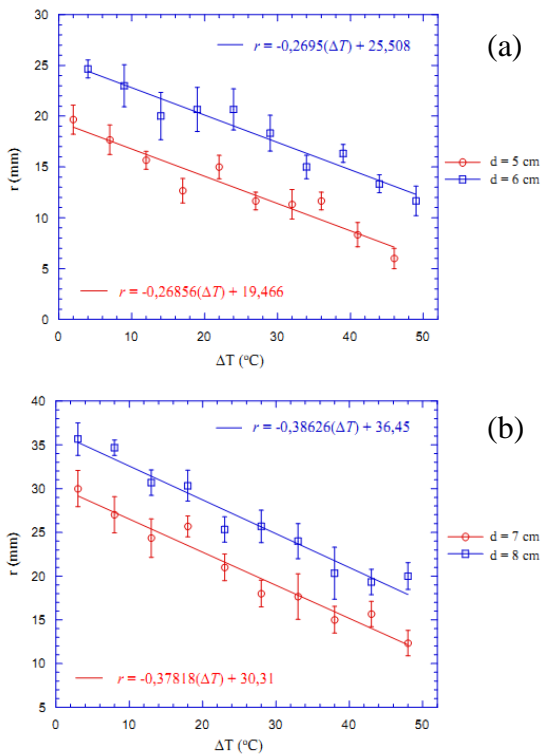
T (°C)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$c_v \times 10^{-7}$ (ergs/g °C)	$\kappa \times 10^4$ (cm <sup>2</sup> /s)	$\nu$ (cm <sup>2</sup> /s)	$\alpha \times 10^3$ (°C) <sup>-1</sup>
20	0,998	4,19	14,33	$1,006 \times 10^{-2}$	2,0
40	0,992	4,18	15,11	$6,58 \times 10^{-3}$	3,8

Konveksi terjadi pada nilai bilangan Rayleigh ( $R_c$ ) yaitu 1708 [1]. Oleh karena itu, perbedaan suhu kritis ( $\Delta T_c$ ) dapat dikaji dengan menggunakan nilai  $R_c$  dan pendekatan

konstanta-konstanta fisis pada Tabel 1. Dengan menggunakan pendekatan pada suhu 20°C diperoleh  $\Delta T_c$  untuk ketebalan 5 cm – 8 cm berturut-turut yaitu 0,01004°C; 0,00581°C; 0,00366°C; dan 0,00245°C. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa konveksi lebih cepat terjadi ketika ketebalan air lebih besar [10, 11].

**Pengamatan Jari-Jari Konveksi**

Pengamatan terhadap jari-jari konveksi ditunjukkan dalam bentuk grafik hubungan antara jari-jari konveksi ( $r$ ) dengan perbedaan suhu ( $\Delta T$ ) (Gambar 5) untuk ketebalan 5 cm – 8 cm.



**Gambar 5.** Grafik jari-jari konveksi untuk ketebalan air (a) 5 cm dan 6 cm, (b) 7 cm dan 8 cm.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5 memperlihatkan bahwa terjadi penurunan secara linier jari-jari konveksi dengan bertambahnya  $\Delta T$  [10, 11]. Hasil *fitting* grafik ditunjukkan melalui persamaan linier yang diperoleh untuk ketebalan 5 cm–8 cm berturut-turut, yaitu  $r_{(d=5cm)} = -0,26856(\Delta T) + 19,466$ ;  $r_{(d=6cm)} = -0,2695(\Delta T) + 25,508$ ;  $r_{(d=7cm)} = -0,37818(\Delta T) + 30,31$  dan  $r_{(d=8cm)} = -0,38626(\Delta T) + 36,45$ . Selain itu, dapat diungkapkan juga bahwa ketebalan air mempengaruhi jari-jari konveksi. Terjadinya

kenaikan jari-jari konveksi diakibatkan oleh peningkatan ketebalan air.

**4. KESIMPULAN**

Perbedaan suhu ( $\Delta T$ ) mempengaruhi kecepatan gerak molekul air dan jari-jari konveksi. Ketika  $\Delta T$  meningkat, kecepatan gerak molekul air juga mengalami peningkatan yang sesuai dengan persamaan  $v \sim (\Delta T)^{0,4}$  -  $v \sim (\Delta T)^{0,6}$  serta digambarkan dalam diagram percabangan. Sebaliknya jari-jari konveksi mengalami penurunan secara linier menurut persamaan  $r \sim -0,1(\Delta T) + C$  -  $r \sim -0,4(\Delta T) + C$  disebabkan peningkatan  $\Delta T$ .

**5. UCAPAN TERIMA KASIH**

Terima kasih kepada Bapak M. H. Rohman, M.Si. dan Bapak E. Suparso, M.Si. atas bantuannya memberikan informasi-informasi mengenai pengamatan RBC, serta Kepala Laboratorium Fisika Material dan Instrumentasi, Jurusan Fisika, FMIPA, UGM.

**6. REFERENSI**

1. S. Chandrasekhar, “Hydrodynamic and Hydromagnetic Stability”, London : Oxford University Press, 1961.
2. P. G. Drazin, “Introduction to Hydrodynamic Stability”, New York : Chambridge University Press, 2002.
3. V. I. Polezhaev and E.B. Soboleva, *Fluid Dynamics* **40**, pp. 209-220 (2005).
4. D. H. Rothman, “Nonlinear Dynamics I : Chaos”, Massachusetts Institute of Technology, 1989.
5. M. H. Rohman, “Kajian Konveksi Rayleigh-Benard melalui Pengamatan Gerak Aliran Air sebagai Fungsi Perbedaan Suhu”, Tesis, Jurusan Fisika FMIPA UGM, Yogyakarta, 2009.
6. E. Suparso, “Kajian Konveksi Rayleigh-Benard melalui Pengamatan Gerak Aliran Air sebagai Fungsi Ketebalan Air”, Tesis, Jurusan Fisika FMIPA UGM, Yogyakarta, 2009.
7. V. A. Tiwow, “Pengamatan Gerak Konveksi Rayleigh-Benard Sebagai Fungsi Perbedaan Suhu”, Tesis, Jurusan Fisika FMIPA UGM, Yogyakarta, 2011.
8. M. Mansur, “Pengamatan Konveksi Rayleigh-Benard Sebagai Fungsi Ketebalan Air”, Tesis, Jurusan Fisika FMIPA UGM, Yogyakarta, 2011.

9. R. Yustin dan Y. Yusuf, *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVII HFI Jateng dan DIY*, ISSN : 0853-0823, pp. 35-39 (2013), Solo.
10. C. Poluakan, Y. Yusuf, and V. A. Tiwow, *Jurnal Fisika HFI* **11**, pp. 12-17 (2011).
11. C. Poluakan, Y. Yusuf, and V. A. Tiwow, "Study of Rayleigh Benard Convection By Pattern of Water Molecular Flow Observation as Function of Difference Temperature" in International Conference on Physics and Its Applications-2011, *AIP Conference Proceedings Volume 1454*, American Institute of Physics, Melville, NY, pp. 294-297 (2012).