

# TINJAUAN ULANG MATERI AJAR GERAK LURUS BERATURAN MELALUI PERCOBAAN *GRAVITY CURRENT* DALAM SKALA LABORATORIUM

## *REVIEW ON UNIFORM MOTION THROUGH GRAVITY CURRENT EXPERIMENTS IN A LABORATORY*

A. K. Wardani<sup>1\*</sup>, I. Sucahyo<sup>1,2</sup>, T. Prastowo<sup>1,2</sup>, M. Anggaryani<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Prodi Pendidikan Fisika, Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Negeri Surabaya

<sup>2</sup>Pusat Studi Sains Kebumihan, Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Negeri Surabaya

Diterima: 12 April 2013. Disetujui: 2 Mei 2013. Dipublikasikan: Juli 2013

### ABSTRAK

Dalam konteks problem-based learning, salah satu masalah belajar fisika di sekolah dan di universitas adalah keterkaitan antara materi ajar dan fenomena alam dalam kehidupan sehari-hari masih minimum. Siswa, mahasiswa, guru, dan dosen masih mengalami kesulitan dalam memberikan contoh nyata GLB. Penelitian ini meninjau ulang materi ajar gerak lurus beraturan melalui percobaan *gravity current* sebagai sistem dua fluida dengan beda kerapatan di laboratorium dalam upaya mencari contoh nyata sistem fisis yang bergerak sepanjang garis lurus dengan kecepatan tetap. Penelitian ini dapat dipandang sebagai model proses intrusi air laut di estuari, tempat pertukaran massa air laut dan air sungai. Fokus penelitian adalah membuktikan bahwa *gravity current* bergerak dengan kecepatan tetap dan menentukan faktor-faktor dinamik kecepatan. Pengukuran akurat waktu tempuh dan tinggi permukaan air dalam tangki percobaan memberikan kecepatan tak-berdimensi *gravity current* sebesar  $0,45 \pm 0,03$  dengan beda kerapatan massa dan tinggi awal permukaan air merupakan dua faktor dinamik penentu kecepatan.

### ABSTRACT

In the context of problem-based learning, one of learning difficulties in physics at schools and universities is the minimum relevance of learning materials to natural phenomena. School and university students still have difficulties in giving real examples of uniform motion. This research examines uniform motion by performing laboratory experiments on gravity current as a system of two fluids with different densities. The experiments were designed to provide a factual case of a moving system with constant speed and to model salt intrusion in an estuary, where sea water and river stream meets. The research focused on the dynamics of gravity currents and determines factors affecting the speed. Based on measurements of travel time and initial height of water surface in all experiments, the results showed that the non-dimensional speed was found to be  $0.45 \pm 0.03$  and the density difference and the water height were crucial dynamic factors defining velocity.

© 2013 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

**Keywords:** non-dimensional speed; density difference; water height

### PENDAHULUAN

Fisika merupakan salah satu cabang Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) yang berhubungan dengan proses, sikap, dan produk ilmiah.

Ilmu fisika dibutuhkan untuk mempelajari fenomena alam yang menuntut kemampuan berpikir logis dan bertindak nyata secara sistematis, terpadu, dan komprehensif. Siswa dan mahasiswa diharapkan tidak hanya mempelajari tentang konsep, teori, dan fakta ilmiah tetapi juga aplikasi ilmu fisika dalam kehidupan sehari-hari (Setyorini dkk, 2011). Percobaan fisika di laboratorium menuntut siswa dan mahasiswa untuk

---

\*Alamat Korespondensi:  
Kampus Unesa Ketintang, Surabaya 60231  
E-mail: wardani.k.afni@gmail.com

dapat memahami konsep fisika mulai dari yang sederhana sampai dengan yang kompleks. Namun minimnya peralatan di laboratorium seringkali menjadi kendala, sehingga demonstrasi contoh nyata pokok bahasan tertentu dalam proses belajar mengajar fisika di sekolah dan di universitas kurang maksimal. Pembelajaran fisika menjadi tidak kontekstual dan penuh dengan rumus matematis dan abstraksi. Masalah tersebut memberikan pengaruh negatif terhadap minat dan antusiasme belajar baik siswa maupun mahasiswa. Hal ini akan mengakibatkan pola dan tingkat berpikir yang rendah dan berujung pada capaian indikator keberhasilan belajar di bawah standar yang diharapkan.

Dengan menerapkan pembelajaran berbasis masalah pada pokok bahasan Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB), Setyorini dkk (2011) berhasil meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa SMP. Model tersebut merupakan pendekatan pembelajaran yang memperkenalkan masalah nyata sebagai sarana berpikir kritis dan melatih keterampilan memecahkan masalah. Hal ini sesuai dengan tujuan pembelajaran yang menuntut siswa dan mahasiswa mengembangkan kemampuan bernalar dan berpikir kritis dengan menitik-beratkan pada aspek logika dalam menerapkan konsep fisika untuk menjelaskan berbagai fenomena alam (Sutrisno, 2009).

Berbeda dengan Setyorini dkk (2011), peneliti melakukan kajian teori fisika pada pokok bahasan Gerak Lurus Beraturan (GLB) dan mencari relevansi GLB dengan fenomena alam sehari-hari. Selama ini, siswa dan mahasiswa, bahkan guru dan dosen masih mengalami kesulitan dalam memberikan contoh nyata benda atau sistem fisis yang bergerak dengan kecepatan konstan. Mengadopsi metode Prastowo (2009), peneliti melaksanakan percobaan *gravity current* di laboratorium sebagai upaya pemberian bukti empiris untuk sistem fisis yang bergerak dengan kecepatan konstan. Percobaan *gravity current* ini sekaligus sebagai contoh faktual GLB dari fenomena alam proses intrusi air laut di estuari (Prastowo, 2010). Baik perambatan *gravity current* dalam skala laboratorium maupun peristiwa pertukaran massa (volume) air laut dan air sungai di estuari dipicu oleh perbedaan kerapatan dua fluida. Pada percobaan *gravity current*, perbedaan kerapatan diperoleh dari perbedaan kerapatan larutan garam dan air tawar. Percobaan didokumentasikan dalam bentuk rentetan foto dan rekaman video untuk mengatasi keterbatasan peralatan laboratorium fisika. Dengan menerapkan stra-

tegi pengajaran yang mengaitkan antara percobaan fisika di laboratorium dan fenomena alam terkait, maka guru dan dosen telah menerapkan *contextual teaching and learning* (CTL).

*Gravity current* adalah sistem fisis dua fluida dengan beda kerapatan yang merambat sepanjang lintasan lurus horizontal dengan kecepatan konstan. Oleh karena itu, dalam konteks pembelajaran fisika *gravity current* merupakan contoh yang baik untuk gerak lurus beraturan. Sistem fisis seperti itu dapat dimodelkan di laboratorium dengan larutan garam dan air tawar yang dimasukkan dalam tangki horizontal. Dinamika sistem ditentukan oleh kecepatan karakteristik yang dipengaruhi oleh perbedaan kerapatan dan tinggi awal permukaan air. Cushman-Roisin and Beckers (2009) mendeskripsikan sistem seperti itu melalui persamaan Navier-Stokes dan persamaan kontinuitas. Persamaan Navier-Stokes merupakan analogi hukum gerak Newton yang berlaku untuk fluida yang dapat diuraikan menjadi komponen vertikal dan horizontal. Komponen vertikal persamaan Navier-Stokes menghasilkan persamaan hidrostatis berikut,

$$\Delta p = gh \Delta \rho \quad (1)$$

dengan  $\Delta p$  menyatakan perbedaan tekanan dua buah titik karena perbedaan kerapatan dua jenis fluida  $\Delta \rho$ ,  $h$  menyatakan kedalaman dua buah titik yang dimaksud dan  $g$  adalah percepatan gravitasi lokal. Peran perbedaan kerapatan  $\Delta \rho$  dalam konteks sistem fisis dua fluida yang ditempatkan dalam wadah horizontal adalah sebagai gaya gerak internal.

Komponen horizontal persamaan Navier-Stokes dapat diperoleh dari kesetimbangan dinamik antara gaya apung dan gaya inersial dalam bentuk

$$gh \Delta \rho = \rho_0 V \Delta u / \Delta t \quad (2)$$

dengan  $A$  menyatakan luas penampang yang mengalami tekanan fluida,  $V$  menyatakan volume total fluida, dan  $\Delta u / \Delta t$  adalah perubahan kecepatan aliran fluida per satuan waktu dihitung dari saat awal dan akhir. Persamaan (2) di atas memberikan hubungan berikut,

$$u = g'hT/L \quad (3)$$

dengan  $u$  adalah komponen horizontal kecepatan aliran fluida,  $L$  adalah skala panjang jarak tempuh aliran,  $T$  adalah selang waktu yang dibutuhkan untuk menempuh jarak sejauh  $LL$ , dan  $g' = g\Delta\rho/\rho_0$  dikenal sebagai gravitasi tereduksi yang memberikan kontribusi pen-

ting pada gaya apung.

Persamaan gerak ke dua yang diperlukan untuk mendeskripsikan sistem dua fluida (*gravity current*) adalah persamaan kontinuitas dengan menerapkan *shallow water approximation*,

$$uh=wL \quad (4)$$

dengan  $w$  adalah komponen vertikal kecepatan aliran yang sebanding dengan hasil bagi antara  $h$  dan  $T$ . Kombinasi antara persamaan (3) dan (4) dan dengan mensubstitusikan  $h=H$  untuk mengakomodasi posisi dua buah titik yang berada di dasar tangki akan menghasilkan persamaan kecepatan aliran berikut,

$$u=\sqrt{g^1H} \quad (5)$$

Persamaan (5) di atas menjadi basis perhitungan kecepatan *gravity current* yang akan dibandingkan dengan kecepatan terukur  $U$  dalam percobaan.

Pembahasan rinci teori dan contoh faktual *gravity current* baik di laboratorium maupun di alam dapat dipelajari di Simpson (1997). Hasil-hasil penelitian terdahulu tentang karakteristik *gravity current* melalui eksperimen di laboratorium (Lowe *et al.*, 2002; Prastowo, 2009) menunjukkan kesesuaian antara sifat-sifat *gravity current* yang diturunkan dari teori Benjamin dan yang ditemui di alam. Dinamika *gravity current* dalam skala laboratorium seringkali direpresentasikan melalui besaran kecepatan karakteristik tak-berdimensi yang didefinisikan sebagai perbandingan antara kecepatan terukur  $U$  dan kecepatan aliran  $u$  pada persamaan (5). Berdasarkan definisi tersebut, kecepatan tak-berdimensi  $v$  dituliskan sebagai

$$v=U/\sqrt{g^1H} \quad (6)$$

Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk membuktikan bahwa *gravity current* bergerak sepanjang lintasan lurus dengan kecepatan tetap dan dapat dija-

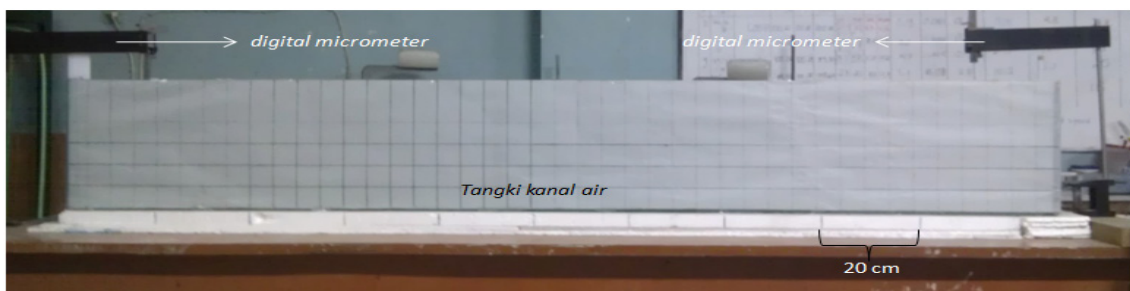
dikan sebagai contoh GLB dalam skala laboratorium. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan kecepatan tak-berdimensi pada persamaan (6) sebagai kecepatan karakteristik *gravity current*. Melalui penelitian ini diharapkan terbuka paradigma dan wawasan baru di kalangan siswa, mahasiswa, guru, dan dosen tentang pembelajaran fisika yang bermakna sesuai dengan teori belajar Ausubel dan teori konstruktivisme Piaget.

## METODE

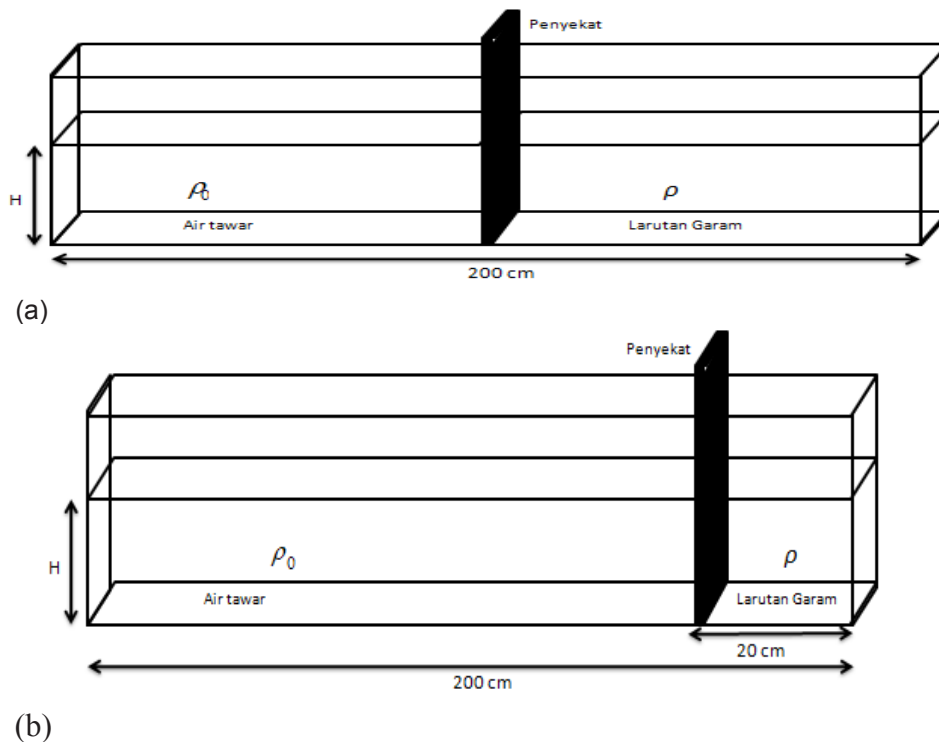
Penelitian dilaksanakan dengan memanfaatkan dua tangki kanal air di Laboratorium Sains Kebumihan, Jurusan Fisika FMIPA Unesa yang berukuran panjang total 200 cm; lebar tangki pertama adalah 20 cm dan tangki ke dua adalah 10 cm. Pada sisi depan tangki dipasang kertas jejak untuk mempermudah pengamatan saat percobaan berlangsung, sedangkan pada sisi belakang tangki dipasang proyektor untuk pencahayaan. Gambar 1 merupakan foto salah satu tangki percobaan dengan panjang 200 cm dan lebar 10 cm. Jalannya percobaan perambatan *gravity current* didokumentasikan dalam bentuk foto dan rekaman video. Kertas jejak dibuat berskala panjang 5 cm/kotak untuk mempermudah pengamatan perambatan *gravity current*.

Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini adalah *digital micrometer* dengan ketelitian 0,1 cm untuk mengukur tinggi permukaan air tawar dan larutan garam; *hidrometer* dengan ketelitian 0,0001 gr/cm<sup>3</sup> pada suhu ruang untuk mengukur kerapatan air tawar dan larutan garam; *digital stopwatch* dengan ketelitian 0,01 s untuk mengukur waktu perambatan *gravity current*. Kamera digital tipe DSLR dan kamera video beresolusi 14,2 mega piksel digunakan untuk merekam *gravity current* selama percobaan berlangsung.

Pelaksanaan percobaan *gravity current*



**Gambar 1.** Tangki kanal air untuk percobaan perambatan *gravity current* berukuran 200 cm x 10 cm.



**Gambar 2.** Sketsa tangki kanal air percobaan *gravity current*; posisi sekat saat berada (a) tepat di tengah dan (b) dekat ujung salah satu tangki kanal air.

dilakukan dalam dua tahap, yaitu persiapan dan pelaksanaan. Tahap persiapan dilakukan dengan menyiapkan alat dan bahan percobaan meliputi pengukuran kerapatan air tawar, pembuatan larutan garam dengan beda kerapatan (kadar garam) tertentu terhadap air tawar, pengaturan ketinggian awal permukaan air tawar dan larutan garam, pengaturan posisi kamera untuk pengambilan rentetan foto dan rekaman video percobaan, dan pengaturan pencahayaan dari proyektor.

Tahap pelaksanaan dimulai dengan memasukkan sekat pembatas pada bagian tengah tangki seperti terlihat pada Gambar 2a atau pada bagian dekat ujung kanan tangki seperti terlihat pada Gambar 2b. Kemudian tangki air diisi dengan air tawar dan larutan garam sampai pada ketinggian yang diinginkan dalam percobaan (20 cm atau 10 cm). Kedua fluida diberi warna yang berbeda untuk memudahkan pengamatan saat percobaan berlangsung. Percobaan *gravity current* dilakukan dalam dua tahap, tahap pertama dengan menggunakan tangki kanal air lebar 20 cm (seri percobaan 1-9 pada Tabel 1) dan tahap ke dua dengan menggunakan tangki kanal air lebar 10 cm (seri percobaan 10-15 pada Tabel 1). Variasi ketinggian awal permukaan air tawar dan larutan garam H (10 cm dan 20 cm) serta perbedaan kerapa-

tan  $\Delta\rho/\rho_0$  (1%, 3%, dan 5%) dilakukan untuk menguji pengaruh kedua parameter tersebut terhadap dinamika perambatan *gravity current* melalui waktu tempuh dan kecepatan *gravity current* yang terukur dalam percobaan.

Percobaan dimulai dengan menarik sekat pembatas dari dalam tangki kanal air. Larutan garam bergerak ke kiri sepanjang dasar tangki membentuk lapisan *dense current*. Pengamatan dilakukan mulai dari saat kepala dan badan *dense current* teramati dengan jelas hingga saat kepala *dense current* tiba pada ujung kiri tangki. Setiap perpindahan posisi kepala *dense current* sejauh 10 cm diukur dari posisi awal sekat diletakkan hingga sesaat sebelum menabrak dinding tangki dicatat sebagai *time series*. Berbasis *time series* inilah, dibuat rentetan foto dan data eksperimen terkait untuk membuktikan secara visual dan kuantitatif bahwa *gravity current* bergerak dengan kecepatan konstan dan oleh karena itu dapat digunakan sebagai contoh faktual yang baik untuk GLB dalam skala laboratorium.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Total 15 seri percobaan perambatan *gravity current* telah dilakukan dengan memanfaatkan dua buah tangki kanal air (lebar 20

**Tabel 1.** Hasil 15 percobaan perambatan *gravity current* dalam skala laborarotium.

Exp	$\Delta\rho/\rho_0$ (%)	H (cm)	waktu tempuh T (sekon)	kecepatan aliran $\sqrt{g^1H}$ (cm/s)	kecepatan terukur U (cm/s)	kecepatan tak-berdimensi
1	1,0	10,0	42,00	9,61	4,29	0,45
2	3,0	10,0	24,03	17,02	7,49	0,44
3	5,0	10,0	17,20	21,93	10,47	0,48
4	1,0	20,0	31,02	13,61	5,80	0,43
5	3,0	20,0	17,05	23,95	10,56	0,44
6	5,0	20,0	13,50	30,90	13,33	0,43
7	1,0	10,0	23,02	9,60	4,34	0,47
8	3,0	10,0	13,15	17,37	7,60	0,48
9	5,0	10,0	9,90	21,54	10,10	0,46
10	1,0	10,0	23,86	10,19	4,35	0,43
11	3,0	10,0	13,00	17,17	7,64	0,46
12	5,0	10,0	10,24	22,02	10,13	0,46
13	1,0	20,0	16,63	13,44	6,24	0,46
14	3,0	20,0	9,57	24,21	10,84	0,45
15	5,0	20,0	7,19	30,87	14,42	0,47

cm dan 10 cm) yang tersedia. Dinamika *gravity current* diuji melalui perubahan variabel dinamik terukur dalam percobaan, yaitu beda kerapatan  $\Delta\rho$  dan ketinggian awal permukaan air H. Data lengkap hasil dari semua percobaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1. Seri percobaan 1-6 dilakukan dengan menempatkan sekat pembatas 20 cm dari ujung kanan, sedangkan seri percobaan 7-15 dilakukan dengan menempatkan sekat pembatas tepat pada bagian tengah tangki.

Penempatan posisi sekat pembatas dekat salah satu ujung tangki untuk menguji panjang lintasan yang ditempuh oleh lapisan *dense current* masih dalam batas teori perambatan *gravity current* yang bergerak dengan kecepatan tetap. Untuk panjang *lock* (reservoir larutan garam) 20 cm, jarak maksimum yang dapat ditempuh oleh *gravity current* sebelum faktor friksi berperan dalam perambatan adalah 200 cm. Dalam seri percobaan dengan sekat diletakkan 20 cm dari salah satu ujung, panjang lintasan jarak yang ditempuh oleh lapisan *dense current* sebelum menyentuh ujung yang lain (ujung kiri dinding tangki) adalah 180 cm. Untuk seri percobaan dengan sekat diletakkan tepat pada bagian tengah tangki, panjang lintasan jarak yang ditempuh oleh lapisan *dense current* sebelum menyentuh ujung yang lain adalah 100 cm. Besaran panjang lintasan jarak tempuh L inilah bersama dengan *measured time travel* T yang menjadi basis untuk menghitung kecepatan terukur U dalam percobaan.

Dalam banyak kasus, dinamika *gravity current* dicirikan oleh besaran kecepatan karakteristik yang seringkali direpresentasikan dalam besaran kecepatan tak-berdimensi pada persamaan (6). Besaran ini penting untuk mengetahui apakah faktor friksi berperan dalam percobaan. Teori Benjamin meramalkan bahwa untuk *gravity current* yang merambat bebas tanpa hambatan dinamik, maka kisaran besar kecepatan tak-berdimensi adalah 0,5.

Untuk semua kasus yang ditinjau dalam 15 percobaan pada Tabel 1, baik sekat pembatas diletakkan dekat salah satu ujung tangki maupun tepat di tengah tangki, perubahan beda kerapatan relatif  $\Delta\rho/\rho_0$  (untuk tinggi awal permukaan air H yang tetap) atau perubahan tinggi awal permukaan air H (untuk beda kerapatan relatif  $\Delta\rho/\rho_0$  yang tetap) menghasilkan perubahan terukur, baik pada kecepatan aliran  $\sqrt{g^1H}$  (kolom 5) maupun pada kecepatan terukur U dalam percobaan (kolom 6). Meskipun perubahan kedua parameter tersebut ( $\Delta\rho/\rho_0$  dan H) memberikan dampak langsung pada kecepatan *gravity current*, namun demikian kecepatan tak-berdimensi (kolom 7) seperti didefinisikan persamaan (6) ternyata berharga tetap untuk semua kasus, yaitu  $0,45 \pm 0,03$  dalam batas ketelitian alat ukur yang digunakan dalam percobaan. Hasil ini tidak berbeda jauh dengan *non-dimensional theoretical speed of gravity current* berdasarkan teori Benjamin sebesar 0,5.

Meskipun Tabel 1 menceritakan ten-



tang deskripsi global hasil-hasil semua percobaan *gravity current*, yang menemukan kecepatan tak-berdimensi lapisan *dense current* (*gravity current*) adalah sama untuk semua kasus, namun deskripsi global tersebut belum membuktikan bahwa *gravity current* adalah contoh faktual GLB. Untuk membuktikan bahwa *gravity current* adalah sistem fisis dua fluida yang bergerak dengan kecepatan tetap, berikut ini diberikan dua tabel baru, yaitu Tabel 2 dan Tabel 3 yang memuat rincian data *time series* dari percobaan 11 dan 14 pada Tabel 1. Tabel 2 dan grafik terkait seperti terlihat pada Gambar 3 merupakan rincian data *time series* percobaan 11.

**Tabel 2.** *Time series* percobaan *gravity current* dengan  $\Delta\rho/\rho_0 = 3\%$  dan  $H = 10$  cm.

jarak tempuh (cm)	waktu tempuh (sekon)
10	1,18
20	2,30
30	3,38
40	4,59
50	5,47
60	7,21
70	8,32
80	9,58
90	10,50
100	13,00

Tabel 2 menunjukkan lama waktu yang ditempuh oleh *gravity current* pada setiap interval perubahan posisi 10 cm diukur dari posisi awal penyekat diletakkan hingga kepala *gravity current* menabrak ujung dinding tangki sebelah kiri. *Gravity current* menempuh setiap perpindahan 10 cm dalam selang waktu sekitar 1,12 sekon yang membuktikan bahwa *gravity current* menempuh jarak yang sama dalam selang waktu yang sama. Fakta empiris tersebut menjelaskan konsep kecepatan konstan yang merupakan salah satu syarat benda dikatakan bergerak lurus beraturan, selain syarat menempuh lintasan lurus. Berdasarkan data pada Tabel 2 tersebut dapat dibuat grafik jarak tempuh fungsi waktu tempuh (Gambar 3) yang membuktikan bahwa perambatan *gravity current* merupakan contoh nyata sistem fisis yang bergerak lurus beraturan.

Gambar 3 menunjukkan kecenderungan hubungan linier antara jarak tempuh terhadap waktu rambat *gravity current*. Meskipun

terdapat beberapa kesulitan teknis pada saat menentukan *time series* (Tabel 2), khususnya pada poin terakhir dengan kepala *gravity current* hampir menyentuh ujung dinding kiri yang berakibat penyimpangan cukup besar dari pola garis lurus pada Gambar 3, namun secara keseluruhan pola Gambar 3 jelas menunjukkan kesebandingan antara jarak tempuh dan waktu tempuh. Hal ini berarti bahwa *gravity current* yang dibangkitkan dalam percobaan skala laboratorium bergerak dengan kecepatan tetap sepanjang lintasan lurus dan dapat dikatakan sebagai contoh gerak lurus beraturan.

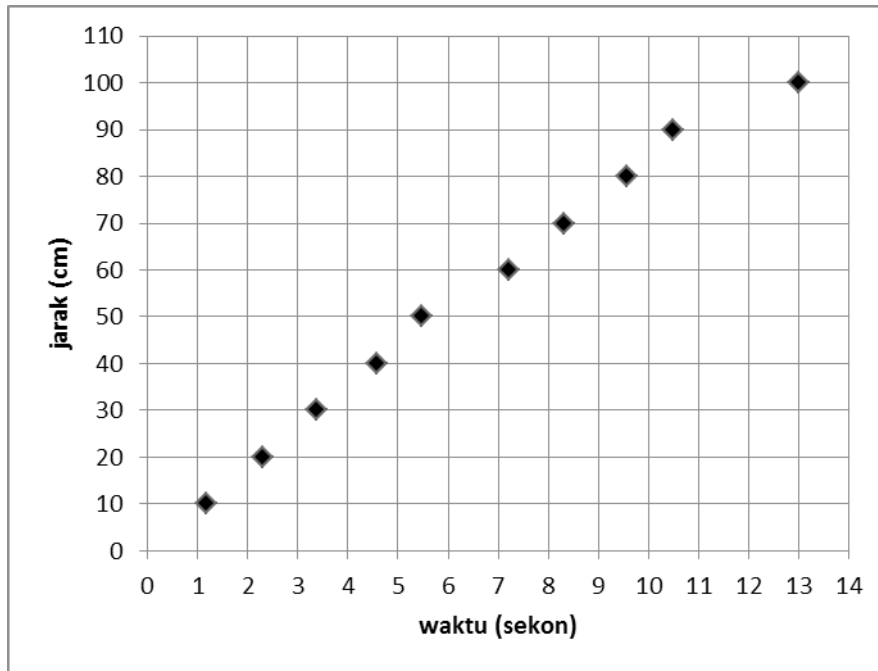
Berbasis hasil pengukuran *time series* pada Tabel 2 dan untuk memberikan gambaran visual perambatan *gravity current* dengan  $\Delta\rho/\rho_0 = 3\%$  dan  $H = 10$  cm, maka rentetan foto *gravity current* dengan interval 20 cm diukur dari posisi awal penyekat diletakkan hingga 20 cm menjelang ujung dinding kiri tangki diberikan pada Gambar 4 dengan lapisan berwarna gelap adalah *dense current* dan lapisan berwarna terang adalah air tawar.

Untuk melihat efek dinamik perubahan ketinggian awal permukaan air  $H$  dari 10 cm menjadi 20 cm, maka diberikan Tabel 3 dan grafik terkait seperti terlihat pada Gambar 4 yang memuat rincian data *time series* percobaan 14.

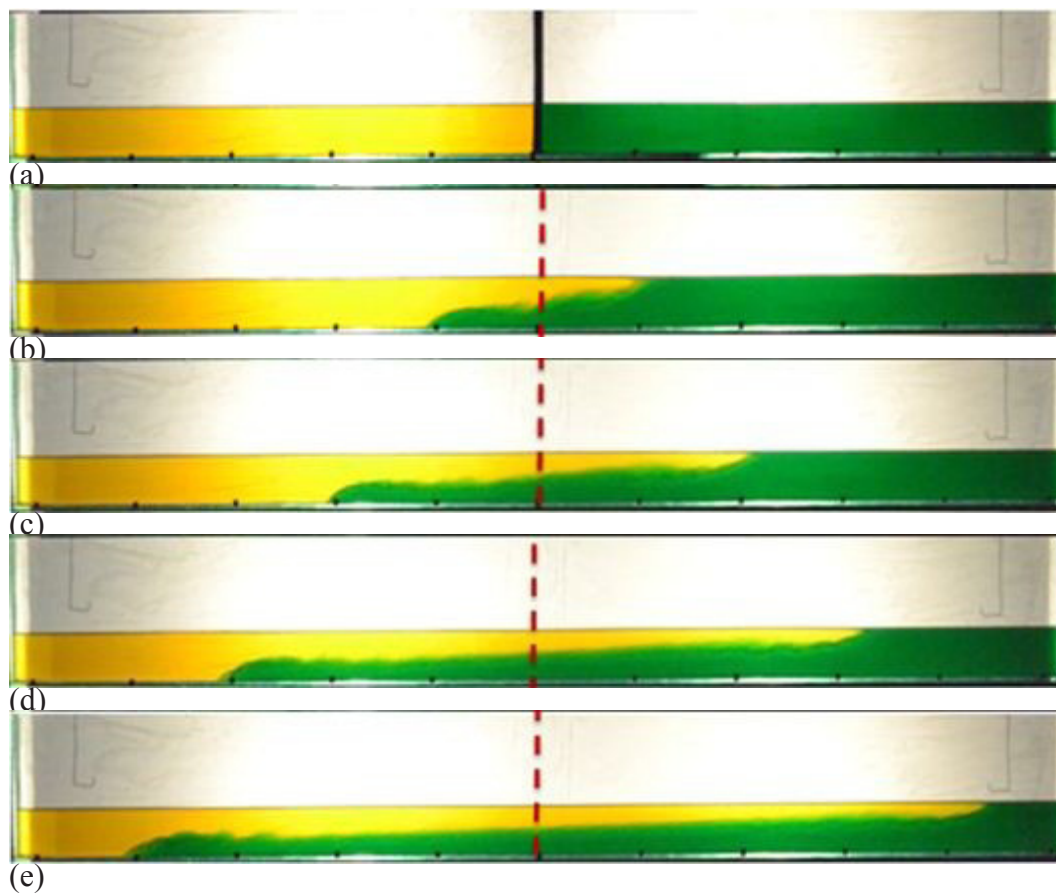
**Tabel 3.** *Time series* percobaan *gravity current* dengan  $\Delta\rho/\rho_0 = 3\%$  dan  $H = 20$  cm.

jarak tempuh (cm)	waktu tempuh (sekon)
10	1,24
20	2,15
30	3,10
40	4,03
50	5,00
60	5,58
70	6,29
80	7,27
90	8,23
100	9,57

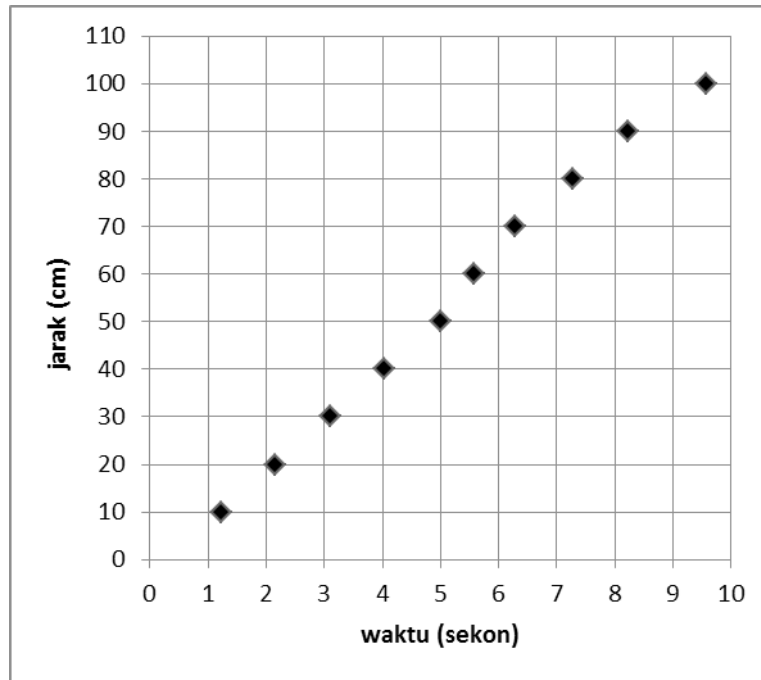
Tabel 3 menunjukkan lama waktu yang ditempuh oleh *gravity current* pada setiap interval perubahan posisi 10 cm diukur dari posisi awal penyekat diletakkan hingga menabrak ujung dinding tangki sebelah kiri. Setiap perpindahan 10 cm ditempuh oleh *gravity current* dalam selang waktu sekitar 0,93 sekon yang juga membuktikan bahwa *gravity current* menempuh jarak yang sama dalam selang waktu yang



**Gambar 3.** Grafik jarak tempuh fungsi waktu rambat *gravity current* dengan  $\Delta\rho/\rho_0 = 3\%$  dan  $H = 10$  cm.



**Gambar 4.** Foto percobaan *gravity current* dengan  $\Delta\rho/\rho_0 = 3\%$  dan  $H = 10$  cm. Interval jarak 20 cm yang terlihat dalam (b) sampai (e) ditempuh dalam waktu selama 2,30 sekon, 4,59 sekon, 7,21 sekon, 9,58 sekon dihitung dari saat sekat dibuka.



**Gambar 5.** Grafik jarak tempuh fungsi waktu rambat *gravity current* dengan  $\Delta\rho/\rho_0 = 3\%$  dan  $H = 20$  cm.

sama, namun lebih pendek dari selang waktu yang dibutuhkan oleh *gravity current* pada percobaan 11 (Tabel 2). Hasil tersebut menunjukkan bahwa terdapat korelasi positif antara perubahan  $H$  dan kecepatan rambat yang terukur langsung dalam waktu tempuh. Berdasarkan data pada Tabel 3 tersebut di atas, maka dapat dibuat grafik jarak tempuh fungsi waktu tempuh (Gambar 5) yang membuktikan bahwa perambatan *gravity current* merupakan contoh nyata sistem fisis yang bergerak lurus beraturan.

Seperti Gambar 3, Gambar 5 juga menunjukkan hubungan linier antara jarak tempuh terhadap waktu tempuh. Berdasarkan grafik pada Gambar 5 dapat diketahui pola perubahan posisi kepala *gravity current* setiap jarak tempuh 10 cm ternyata dicapai dalam selang waktu yang sama. Secara keseluruhan, pola grafik pada Gambar 3 jelas menunjukkan kesebandingan antara jarak tempuh dan waktu tempuh. Hal ini berarti bahwa *gravity current* dalam skala laboratorium dengan perbedaan kerapatan tertentu dan tinggi awal permukaan air yang bervariasi terbukti bergerak dengan kecepatan tetap dan dapat dikatakan sebagai contoh gerak lurus beraturan.

Berbasis hasil pengukuran *time series* pada Tabel 3 dan untuk memberikan gambaran visual perambatan *gravity current* dengan  $\Delta\rho/\rho_0 = 3\%$  dan  $H = 20$  cm, maka rentetan foto *gravity current* dengan interval 20 cm diukur

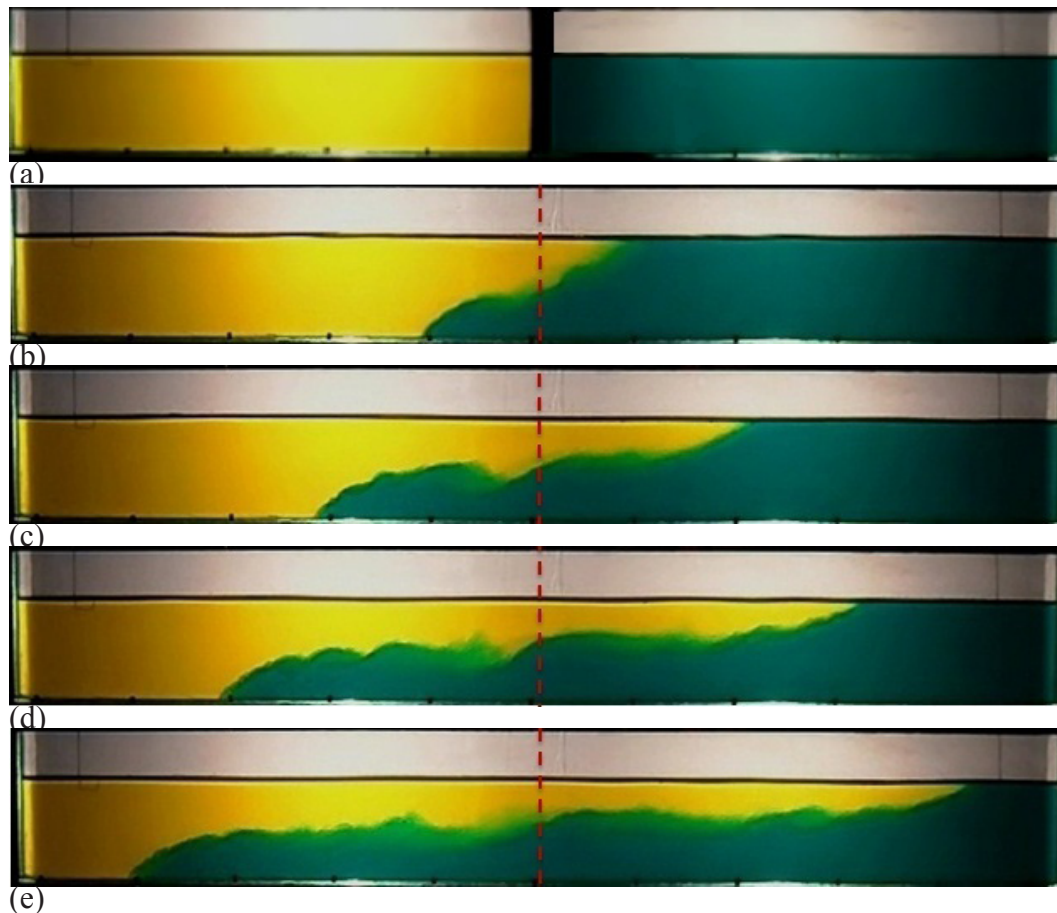
dari posisi awal penyekat diletakkan hingga 20 cm menjelang ujung dinding kiri tangki diberikan pada Gambar 6 dengan lapisan berwarna gelap adalah *dense current* dan lapisan berwarna terang adalah air tawar.

Hasil-hasil percobaan *gravity current* baik secara keseluruhan seperti terlihat pada Tabel 1 maupun rincian *time series* percobaan 11 dan 14 pada Tabel 2 dan Tabel 3 serta dua grafik terkait pada Gambar 3 dan Gambar 5 berikut rentetan foto yang relevan pada Gambar 4 dan Gambar 6 jelas menunjukkan bahwa sifat-sifat *gravity current* yang dihasilkan dalam percobaan skala laboratorium di Lab Sains Kebumihan, Jurusan FMIPA Unesa sesuai dengan sifat-sifat yang diceritakan dalam Simpson (1997). Meskipun ada perbedaan kuantitatif dibandingkan dengan hasil yang diperoleh oleh Shin *et al* (2004) dan Prastowo (2009), namun penelitian ini dapat membuktikan bahwa *gravity current* sebagai model proses intrusi air laut dalam skala laboratorium bergerak dengan kecepatan tetap sepanjang garis lurus dan oleh karena itu merupakan kandidat yang baik untuk contoh nyata GLB.

## PENUTUP

Percobaan perambatan *gravity current* dalam skala laboratorium merupakan pemo-





**Gambar 6.** Foto percobaan *gravity current* dengan  $\Delta\rho/\rho_0 = 3\%$  dan  $H = 20$  cm. Interval jarak 20 cm yang terlihat dalam (b) sampai (e) ditempuh dalam waktu selama 2,15 sekon; 4,03 sekon; 5,58 sekon; 7,27 sekon dihitung dari saat sekot dibuka.

delan proses intrusi air laut sebagai contoh nyata benda yang bergerak sepanjang lintasan lurus dengan kecepatan tetap yang disebut dengan gerak lurus beraturan (GLB). Faktor utama yang berperan dalam dinamika perambatan *gravity current* sebagai sistem dua fluida adalah perbedaan kerapatan massa antara dua fluida  $\Delta\rho$  dan ketinggian awal permukaan air  $H$  diukur dari dasar tangki. Semakin besar beda kerapatan relatif  $\Delta\rho/\rho_0$  antara larutan garam dan air tawar (terukur dalam persentase perbedaan kerapatan massa kedua fluida), maka semakin besar pula kecepatan rambat *gravity current* yang terukur langsung dalam bentuk *shorter time travel*. Demikian pula, bila ketinggian awal permukaan air  $H$  semakin tinggi dalam percobaan, maka semakin cepat pula *gravity current* itu merambat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa besar kecepatan tak-berdimensi *gravity current* adalah tetap sebesar  $0,45 \pm 0,03$ .

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan hibah Penelitian Stranas Tahun Pertama dengan dana berasal dari Direktorat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (Litabmas), Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (Dirjen Dikti), Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan (Kemendikbud) yang diberikan kepada tim peneliti melalui SP3 Penelitian Stranas No.037/SP2H/PL/Dit.Litabmas/III/2012/7-3-2012.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Cushman-Roisin, B and Beckers, J. M. 2009. *Introduction to Geophysical Dynamics*. New Hampshire: Academic Press, USA.
- Lowe, R. J., Linden P. F., and Rotman J. W. 2002. A laboratory study of the velocity structure in an intrusive gravity current. *Journal of Fluid Mech.* 456: 33-48.

- Prastowo, T. 2009. On the nature of gravity currents. *Jurnal Matematika dan Sains*, 14(3): 76-80.
- Prastowo, T. 2010. *Propagating gravity current in a uniform channel as a laboratory model of salt intrusion*. Artikel dipresentasikan dalam The Second International Seminar on Applied Technology, Science and Arts (APTECS). ITS Surabaya, 21-22 Desember 2010.
- Setyorini, U., Sukiswo, S. E., and Subali, B. 2011. Penerapan Model Problem-Based Learning untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa SMP. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 7(1): 52-56.
- Shin, J. O., Dalziel S. B., and Linden P. F. 2004. Gravity currents produced by lock exchange. *Journal of Fluid Mech.* 521:1-34.
- Simpson J. E. 1997. *Gravity currents in the environment and the laboratory*, 2<sup>nd</sup> ed. Cambridge: Cambridge University Press, UK.
- Sutrisno, W. 2009. Penumbuhan Sikap-Sikap Positif Melalui Pembelajaran Fisika. *Jurnal Pengajaran Sekolah Menengah*, 1 (1): 14-17.