



Magister Matematika
Fakultas MIPA
Universitas Syiah Kuala

Melacak Sampah Plastik dengan Analisis Laut Lagrangian Menggunakan OceanParcels

Muh. Nur Hidayat

—
Pembimbing 1: Prof. Dr. Ir. Syamsul Rizal
Pembimbing 2: Prof. Dr. Marwan Ramli, M.Si.

July 20, 2022

| Seminar Proposal

<https://m-math.unsyiah.ac.id>

Daftar Isi

Table of Contents

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan
Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan
Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes
3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian



■ Pendahuluan

- Latar Belakang dan Rumusan Masalah
- Tujuan Penelitian
- Urgensi dan Kebaruan Penelitian
- Manfaat Penelitian

■ Tinjauan Pustaka

- Persamaan Gerak Fluida
- Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi
- Analisis Laut Lagrangian
- OceanParcels
- Arakawa C-grid

■ Metodologi Penelitian

- Domain Penelitian
- Data Penelitian
- Prosedur Penelitian

Latar Belakang dan Rumusan Masalah I

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan Rumusan Masalah

Tujuan Penelitian

Urgensi dan Kebaruan Penelitian

Manfaat Penelitian

Tinjauan

Pustaka

Persamaan Gerak Fluida

Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi

Analisis Laut Lagrangian

OceanParcels

Arakawa C-grid

Metodologi

Penelitian

Domain Penelitian

Data Penelitian

Prosedur Penelitian

Pellentesque interdum sapien sed nulla. Proin tincidunt. Aliquam volutpat est vel massa. Sed dolor lacus, imperdiet non, ornare non, commodo eu, neque. Integer pretium semper justo. Proin risus. Nullam id quam. Nam neque. Duis vitae wisi ullamcorper diam congue ultricies. Quisque ligula. Mauris vehicula.



Latar Belakang dan Rumusan Masalah II

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan Rumusan Masalah

Tujuan Penelitian

Urgensi dan Kebaruan Penelitian

Manfaat Penelitian

Tinjauan Pustaka

Persamaan Gerak Fluida

Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi

Analisis Laut Lagrangian

OceanParcels

Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian

Data Penelitian

Prosedur Penelitian

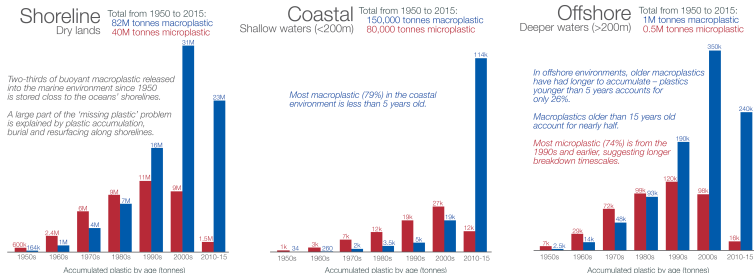


Where does plastic accumulate in the ocean?

Macroplastics are greater than 0.5cm in diameter

Microplastics are smaller than 0.5cm

Our World
in Data



Data source: Lebreton et al. (2019). A global mass budget for positively buoyant macroplastic debris in the ocean. This is a visualization from OurWorldinData.org, where you find data and research on the world's largest problems.

Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie.

Figure: Distribusi sampah plastik di laut (Ritchie & Roser, 2018)

Latar Belakang dan Rumusan Masalah III

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan Rumusan Masalah

Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian



Nunc sed pede. Praesent vitae lectus. Praesent neque justo, vehicula eget, interdum id, facilisis et, nibh. Phasellus at purus et libero lacinia dictum. Fusce aliquet. Nulla eu ante placerat leo semper dictum. Mauris metus. Curabitur lobortis. Curabitur sollicitudin hendrerit nunc. Donec ultrices lacus id ipsum.

Tujuan Penelitian

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan
Rumusan Masalah

Tujuan Penelitian

Urgensi dan Kebaruan
Penelitian

Manfaat Penelitian

Tinjauan

Pustaka

Persamaan Gerak Fluida

Persamaan Navier-Stokes
3 Dimensi

Analisis Laut Lagrangian

OceanParcels

Arakawa C-grid

Metodologi

Penelitian

Domain Penelitian

Data Penelitian

Prosedur Penelitian

- Menginvestigasi sebaran sampah mikroplastik yang berasal dari perairan Aceh
- Mengkaji model numerik analisis laut lagrangian
- Mencari hubungan antara kecepatan zonal dan meridional, dan gaya angin terhadap lintasan mikroplastik.



Urgensi dan Kebaruan Penelitian

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan
Rumusan Masalah

Tujuan Penelitian

Urgensi dan Kebaruan
Penelitian

Manfaat Penelitian

Tinjauan Pustaka

Persamaan Gerak Fluida

Persamaan Navier-Stokes
3 Dimensi

Analisis Laut Lagrangian

OceanParcels

Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian

Data Penelitian

Prosedur Penelitian

- Untuk mengetahui cara kerja dari alat yang digunakan + analisis matematis terkait penelitian lanjutan
- Aplikasi OceanParcels dalam domain penelitian belum pernah diteliti sebelumnya
- Untuk mengetahui hubungan-hubungan gaya yang bekerja di dalamnya.



Manfaat Penelitian

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan
Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan
Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes
3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian



- Diharapkan mampu menjawab salah satu tantangan terkait sampah plastik dan cara penanggulangannya dengan mengetahui sebaran sampah plastik yang berasal dari wilayah sasaran penelitian.
- Penjabaran model numerik yang dilakukan akan menambah pengetahuan matematis serta dapat memperoleh gambaran tentang cara kerja model, dan potensi penelitian lanjutan.

Persamaan Gerak Fluida

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian

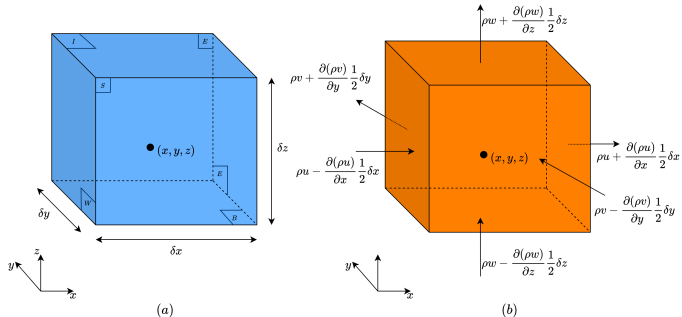


Figure: (a) Ilustrasi partikel sebagai sifat fisis fluida. (b) Aliran massa jenis masuk dan keluar (Versteeg & Malalasekera, 2007)

Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi I

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian



Model OGCM → persamaan Navier-Stokes:

- Persamaan momentum.
- Persamaan kontinuitas.
- Persamaan konservasi densitas.

Model Navier-Stokes dengan pendekatan nonhidrostatik,

$$P = p + q. \quad (1)$$

Tekanan p dihitung secara diagnostik dari densitas dan percepatan gravitasi g seperti pada persamaan berikut

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -(\rho - \rho_0)g. \quad (2)$$

Sedangkan tekanan q dihitung secara prognostik dalam persamaan momentum (implisit).

Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi II

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian



Persamaan momentum,

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} + \text{adv}(u) - fv &= \frac{-1}{\rho_0} \frac{\partial(p+q)}{\partial x} + \text{diff}(u) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \text{adv}(v) + fu &= \frac{-1}{\rho_0} \frac{\partial(p+q)}{\partial y} + \text{diff}(v) \\ \frac{\partial w}{\partial t} + \text{adv}(w) &= \frac{-1}{\rho_0} \frac{\partial(q)}{\partial z} + \text{diff}(w).\end{aligned}\quad (3)$$

dengan persamaan adveksi

$$\text{adv}(\psi) = u \frac{\partial \psi}{\partial x} + v \frac{\partial \psi}{\partial y} + w \frac{\partial \psi}{\partial z}$$

dan persamaan difusi

$$\text{diff}(\psi) = \frac{\partial}{\partial x} (A_H \frac{\partial \psi}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_H \frac{\partial \psi}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_Z \frac{\partial \psi}{\partial z})$$

Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi III

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian



Persamaan kontinuitas,

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial w}{\partial t} = 0. \quad (4)$$

Tekanan dinamis pada lapisan permukaan berdasarkan persamaan kontinuitas,

$$\frac{\partial q_s}{\partial t} = \rho_0 g_i \times \left(\frac{(\partial (H \langle u \rangle))}{\partial x} + \frac{(\partial (H \langle v \rangle))}{\partial y} \right) \quad (5)$$

Persamaan konservasi densitas,

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{adv}(\rho) = \text{diff}(\rho) \quad (6)$$

Analisis Laut Lagrangian I

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan

Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian



Konsep yang digunakan untuk mensimulasikan pergerakan air di lautan,

■ Pendekatan Lagrangian.

Pergerakan partikel dinyatakan dan diobservasi sebagai fungsi waktu dan dianggap bahwa kerangka acuan bergerak bersama-sama dengan partikel fluida, cth:

$s(x_0, y_0, z_0, t)$, $V(x_0, y_0, z_0, t)$, dan $a(x_0, y_0, z_0, t)$.

■ Pendekatan Eulerian.

Pergerakan tiap partikel dinyatakan dan diobservasi sebagai fungsi ruang dan waktu dengan kerangka acuan tetap. cth: $V = V(x, y, z, t)$

Tujuan teknis dari analisis laut Lagrangian adalah untuk memperkirakan lintasan partikel virtual fluida dengan memanfaatkan informasi Eulerian fluida, yaitu medan kecepatan (van Sebille et al., 2018).

Analisis Laut Lagrangian II

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian



Misal vektor posisi $X(t)$ bergantung terhadap waktu t .

Jika bentuk n partikel diskrit ($n \in \mathbb{N}$), vektor posisi dinotasikan sebagai $X^n(t)$, dan

Jika n kontinu, vektor posisi dinotasikan sebagai $x = X(a, t)$ dimana a adalah koordinat materi, posisi partikel dengan referensi waktu $t = t_0$.

Selanjutnya parsel fluida (molekul skala mikroskopik) dalam bentuk kontinu diformulasikan dengan menghitung turunan lintasan partikel terhadap waktu (a konstan),

$$v(x, t) = \left(\frac{\partial X(a, t)}{\partial t} \right)_a \quad (7)$$

Analisis Laut Lagrangian III

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan
Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan
Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes
3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian



Untuk memperoleh deskripsi kinematik yang lebih lengkap, misalkan fungsi sembarang ψ yang dihitung disepanjang lintasan, $\psi(X(a, t), t)$. Dengan aturan rantai diperoleh,

$$\begin{aligned}\frac{\partial \psi(X(a, t), t)}{\partial t} &= \frac{\partial \psi(X(a, t), t)}{\partial t} + \left(\frac{dX(a, t)}{dt} \right) \frac{\partial \psi(X(a, t), t)}{\partial X(a, t)} \\ &= \left[\frac{\partial}{\partial t} + v(X(a, t), t) \frac{\partial}{\partial X(a, t)} \right] \psi(X(a, t), t),\end{aligned}$$

atau secara umum diperoleh,

$$\frac{\partial \psi(X(a, t), t)}{\partial t} = \left[\frac{\partial}{\partial t} + v(X(a, t), t) \cdot \nabla \right] \psi(X(a, t), t). \quad (8)$$

Analisis Laut Lagrangian IV

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian



Metode integrasi Lagrangian,

■ Secara online.

Lintasan dihitung disetiap langkah waktu sehingga model Eulerian diperbaharui secara terus-menerus (cth software: LIGHT in MPAS-O, NEMO online floats and icebergs, MITgcm, HYCOM Float Package, dan ROMS online floats)

■ Secara offline.

Perhitungan model offline menawarkan kemampuan untuk menghitung lintasan dalam mode maju (dari titik awal dan maju dalam waktu) atau dalam mode mundur (dari titik akhir dan mundur dalam waktu) (cth software: Ariane, TRACMASS, Octopus, LAMTA, CMS, dan Parcels)

Analisis Laut Lagrangian V

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian



Proses transportasi dilautan yang mempengaruhi pergerakan dari partikel plastik,

■ Stokes drift.

Stokes drift \overline{u}_S , diformulasikan sebagai

$$\overline{u}_S = \overline{u}_L - \overline{u}_E, \quad (9)$$

dengan \overline{u}_E , \overline{u}_L menyatakan rata-rata kecepatan Eulerian dan Lagrangian, dan

$$\begin{cases} \overline{u}_E = \frac{\partial x}{\partial t} = \overline{u(x, t)}, \\ \overline{u}_L = \frac{\partial X(a, t)}{\partial t} = \overline{u(X(a, t), t)}. \end{cases}$$

Dikarenakan gaya stokes drift, partikel plastik yang terapung dilautan akan memiliki kecepatan dalam arah yang sama dengan perambatan gelombang. Gelombang yang dimaksud adalah gelombang gravitasi permukaan yang muncul dari antarmuka atmosfer dan laut (Brach et al., 2018).

Analisis Laut Lagrangian VI

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan
Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan
Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes
3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian



■ Angin.

Angin memainkan peran penting dalam mendorong arus permukaan dan juga dalam proses interaksi udara-laut. Sampah mikroplastik dapat ditransportasikan secara langsung oleh gaya angin dan mempengaruhi setiap benda yang berada di atas permukaan air (van Sebille et al., 2020). Sebagian besar proses interaksi udara-laut ditentukan dengan menggunakan tekanan angin (*wind stress*), suatu ukuran transfer momentum yang disebabkan oleh gerakan relatif antara laut dan atmosfer (Chacko et al., 2022). Tekanan angin berdasarkan aerodinamis massal (*bulk-aerodynamic*) dirumuskan sebagai,

$$\tau = \rho_a C_d U_w^2 \quad (10)$$

dengan ρ_a adalah densitas udara (1.225 kg/m^3), C_d koefisien seret (*dimensionless*) ($\approx 1.3 \times 10^{-3}$) dan U_w kecepatan angin.

OceanParcels I

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian



Ocean**Parcels**

OceanParcels (Probably **A** Really **C**omputationally **E**fficient **L**agrangian **S**imulator) adalah kumpulan *class* dan *method* dalam Python untuk membuat simulasi pelacakan partikel yang dapat disesuaikan menggunakan data output dari model sirkulasi laut (OGCMs). Parcels dapat digunakan untuk melacak partikel-partikel yang aktif dan pasif seperti air, plankton, plastik, dan ikan. Dalam hal ini, partikel dalam Parcels merepresentasikan berbagai benda yang mengapung dan tenggelam di lautan (<https://oceanparcels.org/>, Lange and van Sebille (2017)).

OceanParcels II

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan
Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan
Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes
3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian



Beberapa proyek yang menggunakan OceanParcel:

- Simulasi plankton yang tenggelam di lautan (plankton-drift.org), (cth: Nooteboom et al., 2019,& 2020)
- Transportasi mikroba di lautan (Adrift project), (cth: McInnes et al., 2019),
- TOPIOS project untuk membuat peta 3D dari polusi plastik di lautan, (cth: Onink et al., 2019, Lacerda et al., 2019, Iskandar et al., 2021)

OceanParcels III

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan
Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan
Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan

Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes
3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi

Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian



Apabila terdapat n buah partikel yang berlokasi di titik $x = X^{(n)}(t)$, posisi dari partikel dapat diperbaharui dengan mengintegrasikan persamaan 7 dan mengambil langkah waktu kecepatan sehingga

$$X(t + \Delta t) = X(t) + \int_t^{t+\Delta t} v(x(\tau), \tau) d\tau + \Delta X_b(t), \quad (11)$$

dengan $\Delta X_b(t)$ adalah tambahan suku di ruas kanan yang merepresentasikan perilaku partikel, seperti contoh daya apung (*buoyancy*)(van Sebille et al., 2018). Solusi dari persamaan ini kemudian diaproksimasi dalam Parcels dengan langkah waktu numerik.

OceanParcels IV

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian

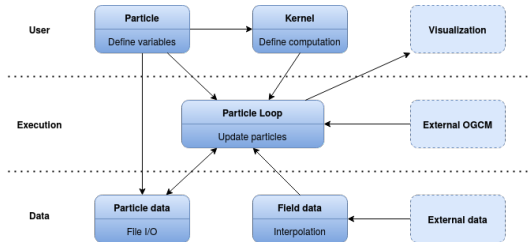


Figure: Flowchart Parcels. Kode disusun dalam tingkat abstraksi tinggi, meminta dari pengguna informasi input yang sangat diperlukan (Lange & van Sebille, 2017)



Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan
Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan
Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan

Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes
3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian



Time Stepping

Persamaan 7 dan kondisi awal dapat ditulis ulang sebagai

$$\dot{y}(t) = f(t, y(t)), \quad y(t_0) = y_0 \quad (12)$$

dengan posisi partikel pada waktu t_n diberikan oleh $y(t_n) = (x_n, y_n, z_n)$. Fungsi f adalah kecepatan (v) dari partikel yang berbentuk suatu vektor (setiap elemen dalam f adalah kecepatan dalam 1-D). Akibatnya persamaan 11 (tanpa suku tambahan) menjadi

$$y(y_0, t + \Delta t) = y(y_0, t) + \int_t^{t+\Delta t} v(y, \tau) d\tau. \quad (13)$$

OceanParcels VI

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan

Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian



Solusi numerik,

1 Metode eksplisit Euler

$$y_{n+1} = y_n + hf(t_n, y_n). \quad (14)$$

2 Metode Runge-Kutta Orde 4 (RK4)

0				
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$			
$\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$		
1	0	0	1	
	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$

OceanParcels VII

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan Rumusan Masalah
 Tujuan Penelitian
 Urgensi dan Kebaruan Penelitian
 Manfaat Penelitian

Tinjauan

Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
 Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi
 Analisis Laut Lagrangian
 OceanParcels
 Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
 Data Penelitian
 Prosedur Penelitian



3 Metode Runge-Kutta-Fehlberg (RKF45)

0						
$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$					
$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{9}{32}$				
$\frac{12}{13}$	$\frac{1932}{2197}$	$-\frac{7200}{2197}$	$\frac{7296}{2197}$			
1	$\frac{439}{216}$	$-\frac{8}{216}$	$\frac{3680}{513}$	$-\frac{845}{4104}$		
$\frac{1}{2}$	$-\frac{8}{27}$	2	$-\frac{3544}{2565}$	$\frac{1859}{4104}$	$-\frac{11}{40}$	
	$\frac{16}{135}$	0	$\frac{6656}{12825}$	$\frac{28561}{56430}$	$-\frac{9}{50}$	$\frac{2}{55}$
	$\frac{25}{216}$	0	$\frac{1408}{2565}$	$\frac{2197}{4104}$	$-\frac{1}{5}$	0

OceanParcels VIII

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan
Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan
Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes
3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian



Selisih antara orde ke 5 (RK5) dan orde ke 4 (RK4),
dihitung dengan cara

$$\kappa = ||y_{n+1}^{5th} - y_{n+1}^{4th}||.$$

Persamaan ini digunakan untuk menghitung *local error* di
titik $n + 1$.

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian



Kondisi Batas

- 2-D, kondisi batas antara darat dan laut serta sisi tepi dari domain simulasi yang digunakan.
- 3-D, terdapat kedalaman lautan yang mempengaruhi sehingga kondisi batas yang berhubungan adalah antara laut dan dasar laut, atau laut dan permukaan laut.

Dalam penelitian ini, kondisi batas yang digunakan adalah antara darat dan laut serta sisi tepi dari domain simulasi dan hanya membatasi pada kasus 2-D

Arakawa C-grid I

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan

Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian



Data OGCM $\xRightarrow{\text{disimpan}}$ *Fields* dalam Parcels yang memuat data 4-Dimensi (longitude, latitude, waktu, kedalaman) $\xRightarrow{\text{membutuhkan}}$ skema interpolasi dan diskritisasi untuk mendapatkan nilai field lokasi partikel.

Arakawa C-grid II

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan

Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian

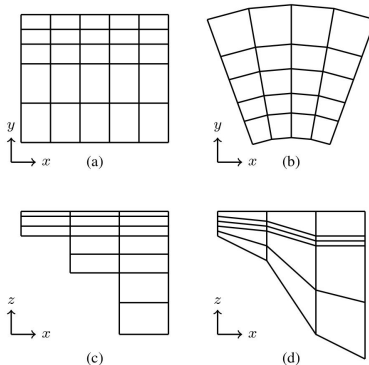


Figure: Diskritisasi grid dalam Parcels. Di bidang horizontal: (a) grid persegi, (b) grid lengkung, di bidang vertikal: (c) grid level z , (d) grid level s (Delandmeter & van Sebille, 2019)

Arakawa C-grid III

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan

Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian

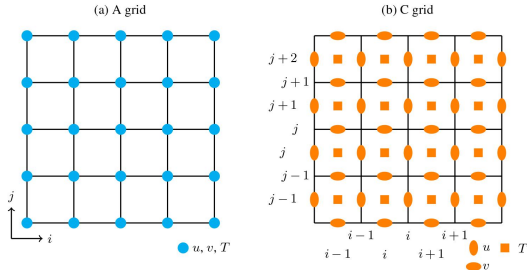


Figure: Grid Arakawa: (a) Grid A dan (b) Grid C (Delandmeter & van Sebille, 2019)

Grid A adalah satu-satunya *unstaggered grid* dalam grid Arakawa dimana variabel-variabelnya (*zonal velocity* (u), *meridional velocity* (v), *tracers* (T)) hanya terdapat pada titik sudut grid, berbeda dengan grid C yang berada di sisi dan tengah grid. i dan j adalah indeks yang merepresentasikan variabel kolom dan baris dimana variabel disimpan.

Arakawa C-grid IV

Bidang 2-D

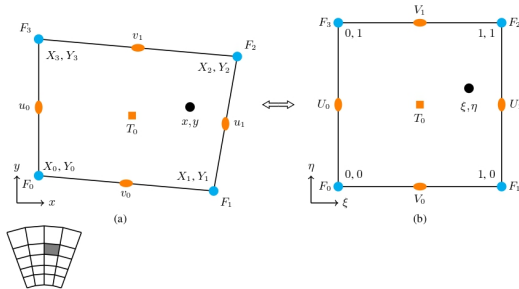


Figure: Posisi variabel pada grid A (titik biru), dan grid C (titik jingga) dengan (a) koordinat fisik dalam sel jala (*mesh cell*), (b) koordinat relatif dalam sel satuan (*unit cell*) (Delandmeter & van Sebille, 2019)



Arakawa C-grid V

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan
Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan
Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes
3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian



Definisikan fungsi f sebagai suatu bidang yang diinterpolasi dalam sel (i, j) dengan polinomial Lagrange ϕ_n^{2-D} dan 4 titik sentral F_n , $n = 0 \dots 3$ yang mengelilingi sel, sehingga

$$f(x, y) = \sum_{n=0}^3 \phi_n^{2-D}(\xi, \eta) F_n, \quad (15)$$

dengan ψ, η memenuhi

$$\begin{cases} x &= \sum_n \phi_n^{2-D}(\xi, \eta) X_n \\ y &= \sum_n \phi_n^{2-D}(\xi, \eta) Y_n. \end{cases} \quad (16)$$

Arakawa C-grid VI

Polinomial Lagrange 2-D ϕ_n^{2-D} untuk $n = 0, 1, 2, 3$ menjadi

$$\begin{aligned}\phi_0^{2-D} &= (1 - \xi)(1 - \eta), & \phi_1^{2-D} &= \xi(1 - \eta) \\ \phi_2^{2-D} &= \xi\eta, & \phi_3^{2-D} &= (1 - \xi)\eta.\end{aligned}$$

Kecepatan relatif ξ , dan η untuk grid A (grid persegi)

$$\begin{aligned}\therefore \xi &= \frac{x - X_0}{X_1 - X_0} \\ \therefore \eta &= \frac{y - Y_0}{Y_3 - Y_0}.\end{aligned}$$

Komponen kecepatan dari Gambar 5b dapat ditulis menjadi

($u_0 = u_{j+1,i}$, $u_1 = u_{j+1,i+1}$, $v_0 = v_{j,i+1}$, $v_1 = v_{j+1,i+1}$) dan digambarkan sedemikian sebagai Gambar 6a. Kemudian

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian



Arakawa C-grid VII

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan
Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan
Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes
3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian



kecepatan pada posisi (x, y) didekati dengan interpolasi linear fluks (U_0, U_1, V_0, V_1) pada sisi-sisi sel (Gambar 6b) sehingga

$$\begin{cases} U_0 = L_{03}u_0, \\ U_1 = L_{12}u_1, \\ V_0 = L_{01}v_0, \\ V_1 = L_{23}v_1, \end{cases} \quad (17)$$

dengan L_{03} , L_{12} , L_{01} , dan L_{23} adalah panjang sisi sel. Selanjutnya dengan menggunakan persamaan 16, misalkan matriks Jacobian 2-D yang mentransformasikan

Arakawa C-grid VIII

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian



sel fisik menjadi sel satuan pada Gambar 6 yang didefinisikan sebagai

$$\mathbf{J}^{2-D}(\xi, \eta) = \left(\sum_n \frac{\partial \phi_n^{2-D}}{\partial \xi} X_n \right) \left(\sum_n \frac{\partial \phi_n^{2-D}}{\partial \eta} Y_n \right) - \left(\sum_n \frac{\partial \phi_n^{2-D}}{\partial \eta} X_n \right) \left(\sum_n \frac{\partial \phi_n^{2-D}}{\partial \xi} Y_n \right). \quad (18)$$

Determinan dari matriks Jacobian pada persamaan 18 selanjutnya dinotasikan $J^{2-D}(\xi, \eta) = \det(\mathbf{J}^{2-D})$ dan didefinisikan sebagai rasio antara permukaan dasar dalam sel fisik dan permukaan yang bersesuaian dalam

Arakawa C-grid IX

sel satuan. Kecepatan relatif dalam sel satuan didefinisikan sebagai

$$\begin{cases} \frac{\partial \xi}{\partial t} = \frac{(1-\xi)U_0 + \xi U_1}{J^{2-D}(\xi, \eta)}, \\ \frac{\partial \eta}{\partial t} = \frac{(1-\eta)V_0 + \eta V_1}{J^{2-D}(\xi, \eta)}. \end{cases} \quad (19)$$

Dengan mentransformasikan kecepatan relatif kedalam sistem koordinat fisik diperoleh,

$$\begin{aligned} u &= \frac{\partial x}{\partial \xi} \frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial x}{\partial \eta} \frac{\partial \eta}{\partial t}, \\ v &= \frac{\partial y}{\partial \xi} \frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial y}{\partial \eta} \frac{\partial \eta}{\partial t}. \end{aligned}$$

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan

Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian



Arakawa C-grid X

Ruang 3-D

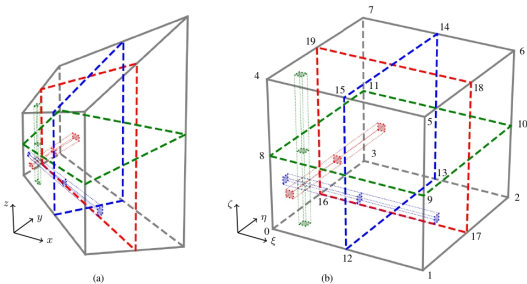


Figure: Fluks yang digunakan untuk interpolasi 3-D pada grid C Arakawa: (a) sel fisik, (b) sel satuan (Delandmeter & van Seville, 2019).



Domain Penelitian

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian

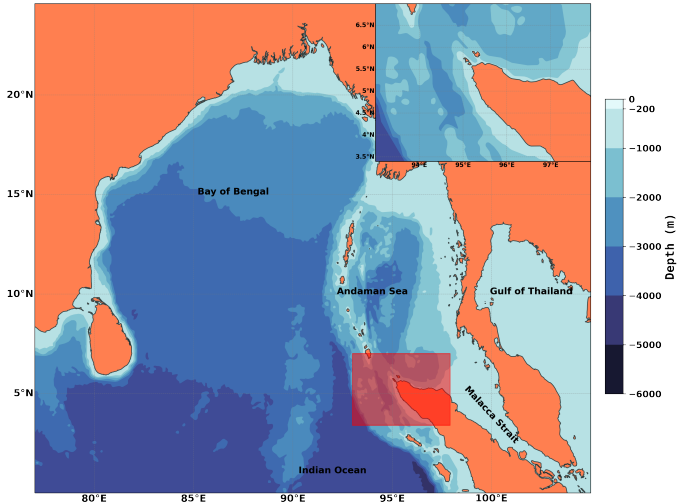


Figure: Domain Penelitian

Data Penelitian

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian



Figure: Data penelitian

Data yang digunakan adalah data arus 3-D (resolusi spasial, NEMO: 5 mnt, HYCOM: 5 mnt lon, 2.5 mnt lat) dan data angin selama setahun, dari April 2021 - Maret 2022.

Prosedur Penelitian

Daftar Isi

Pendahuluan

Latar Belakang dan Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Urgensi dan Kebaruan Penelitian
Manfaat Penelitian

Tinjauan Pustaka

Persamaan Gerak Fluida
Persamaan Navier-Stokes 3 Dimensi
Analisis Laut Lagrangian
OceanParcels
Arakawa C-grid

Metodologi Penelitian

Domain Penelitian
Data Penelitian
Prosedur Penelitian

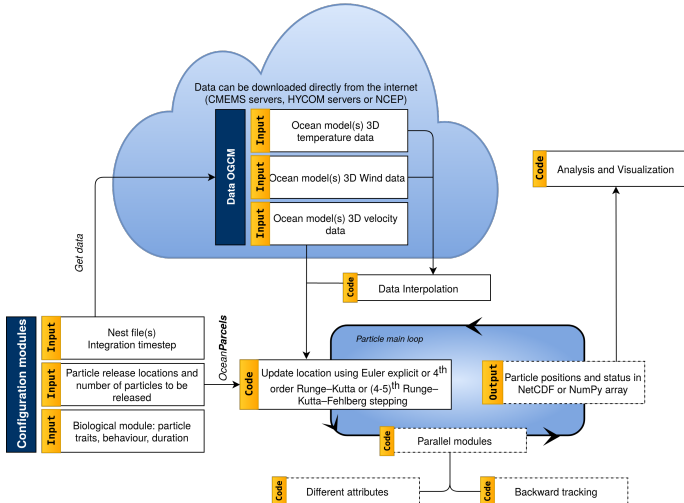


Figure: Diagram alir penelitian



Terima Kasih



UNIVERSITAS SYIAH KUALA

Inovasi, Mandiri, Terbuka