

**EKSPERIMEN NUMERIK HIDRODINAMIKA 3-DIMENSI TERHADAP SISTEM
DISKRITISASI HYBRID DAN SIGMA PERAIRAN
SELAT CAPALULU MALUKU UTARA**

***3-DIMENSIONAL HYDRODYNAMIC NUMERIC EXPERIMENT ON HYBRID
DISCRITIZATION SYSTEMS AND SIGMA WATERS
CAPALULU STRAIT, NORTH MALUKU***

**Ezikri Yasra^{1,2}, Widodo Setiyo Pranowo^{2,3}, Petrus Subardjo¹, Dwi Haryo Ismunarti¹,
Nawanto Budi Sukoco³**

¹Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

²Pusat Riset Kelautan, Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia

³Prodi Hidrografi Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut

E-mail : yasra.ezikri@gmail.com

ABSTRAK

Model numerik hidrodinamika tiga dimensi merupakan salah satu pendekatan yang dapat dilakukan untuk menganalisis suatu fenomena perairan dengan mempertimbangkan pergerakan fluida secara horizontal dan vertikal. Pendekatan ini dilakukan untuk memperoleh nilai dan karakteristik fluida ditengah keterbatasan data lapangan untuk mengetahui profil vertikal perairan. Model dapat dibangun dengan dua pendekatan diskritisasi vertikal yaitu diskritisasi Sigma dan Hybrid. Kedua diskritisasi tersebut dijadikan perbandingan untuk mengetahui kecocokan formula terhadap kondisi perairan sebenarnya. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan data bulan Januari 2019 melalui kedua tipe diskritisasi dengan menggunakan perlakuan yang sama sehingga diketahui perbedaan nilai yang dihasilkan dari kedua metode tersebut. Kedua tipe diskritisasi memiliki spesifikasi yang berbeda dengan kelebihan dan kekurangan pada masing-masing diskritisasi vertikal. Data hidrodinamika 3-dimensi yang dihasilkan menunjukkan bahwa nilai kecepatan arus lebih besar dihasilkan dengan menggunakan diskritisasi Sigma jika dibandingkan dengan menggunakan Hybrid. Selain itu tren pengurangan kecepatan terhadap kedalaman juga teramati dengan baik sehingga diskritisasi Sigma bersifat lebih realistis dibandingkan Hybrid. Hasil verifikasi model dengan model lain pada aspek pasang surut menunjukkan bahwa nilai RMSE dan Korelasi Pearson Diskritisasi Hybrid lebih rendah dibandingkan Sigma. Diskritisasi Sigma dengan nilai RMSE 0,05706 RMSE dan 0,965 Korelasi Pearson dan Diskritisasi Hybrid 0,0576 RMSE dan 0,966.

Kata Kunci: Selat Capalulu, Sigma Level, Combined Sigma & Z-Level, Hybrid

ABSTRACT

The three-dimensional hydrodynamic numerical model is one approach that can be used to analyze a water phenomenon by considering the horizontal and vertical fluid movements. This approach is carried out to obtain the fluid's values and characteristics in limited field data to determine the vertical profile of the waters. The model can be built with two vertical discretization approaches using Sigma and Hybrid discretization. The two discretizations are used as comparisons to determine the suitability of the formula to the actual water conditions. The experiment was carried out in January 2019 using both types of discretization using the same treatment so that the difference in the values generated from the two methods was known. Both types of discretization have different specifications with advantages and disadvantages of each type of vertical mesh. The result of 3-dimensional hydrodynamic data shows that a larger current velocity value is produced using Sigma discretization when compared to using Hybrid. In addition, the trend of reducing speed to depth is also well observed so that the Sigma discretization is more realistic than Hybrid. The results of model verification with other models on the tidal aspect show that the RMSE and Pearson Correlation in Hybrid values are lower than Sigma. Sigma discretization with RMSE values of 0,05706 RMSE and 0,965 Person Correlation and Hybrid Discretization 0,0576 RMSE and 0,966.

Keywords: *Capalulu Strait, Sigma Level, Combined Sigma & Z-Level, Hybrid*

PENDAHULUAN

Fenomena fluida pada lautan memiliki tingkat kompleksitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan fenomena fluida pada air tawar seperti fluida pada danau atau sungai. Kompleksnya fenomena tersebut disebabkan oleh kondisi lautan yang dipengaruhi oleh beragam faktor seperti interaksi atmosfer dengan lautan, interaksi benda-benda angkasa, variasi salinitas dan temperatur hingga kondisi batimetri dan dasar perairan (Royce, 1984). Beragam kondisi tersebut menimbulkan implikasi terhadap pergerakan fluida melalui stratifikasi massa air hingga gelombang internal. Fenomena fluida yang terjadi pada lautan juga beragam mulai dari arus laut, pasang surut, hingga gelombang. Fenomena tersebut

merupakan bentuk pergerakan fluida pada lautan yang disebabkan oleh faktor fisika, kimia, ataupun kombinasi diantara keduanya. Salah satu fenomena fluida yang menarik untuk ditelusuri lebih lanjut adalah pergerakan massa air laut atau lebih umum dikenal dengan istilah arus laut. Secara sederhana arus laut merupakan pergerakan massa air dalam rangka mencapai kesetimbangan akibat adanya faktor pembangkit atau gangguan kondisi kesetimbangan fluida tersebut. Menurut definisi lain arus laut merupakan gerakan massa air dari suatu tempat menuju tempat lain dimana energi penggerak berasal dari matahari (Azis, 2006). Pemahaman mengenai pergerakan massa air laut setidaknya memerlukan tiga faktor untuk menjelaskan perpindahan dari suatu tempat ke tempat lain. Faktor

tersebut berupa pergerakan massa air, gaya pembangkit arus serta faktor yang menghubungkan antara parameter yang berperan dalam pergerakan massa air laut (Setianto *et al.*, 2021)

Kompleksnya faktor pembangkitan arus laut yang disertai dengan adanya variabel lain yang menyertai dengan berbagai kemungkinan maka diperlukan suatu media yang dapat digunakan untuk menyederhanakan fenomena sehingga karakteristik fenomena tersebut dapat diketahui. Penyederhanaan dilakukan dengan tujuan memudahkan analisis tanpa mengabaikan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi entitas arus tersebut. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk meninjau pembangkitan dan sirkulasi arus secara horizontal dan vertikal adalah menggunakan pendekatan model numerik hidrodinamika 3-dimensi. Penggunaan model numerik hidrodinamika dapat meningkatkan pemahaman bagaimana mensimulasikan dan memahami suatu fenomena kelautan, memantau suatu fenomena hingga memprediksikan suatu fenomena dalam suatu batasan tertentu sampai pada suatu waktu pada masa depan (Kantha dan Clayson, 2006). Penggunaan model numerik merupakan pendekatan dalam penelitian dengan berbagai keuntungan sebagai salah satu cara untuk mengamati fenomena dibandingkan dengan meninjau fenomena secara langsung ke lapangan. Model memiliki kelebihan sebagai media yang dapat digunakan untuk penelitian pada wilayah yang sulit dijangkau melalui observasi lapangan (Paul *et al.*, 2019).

Pembangunan model yang dilakukan melalui pendekatan matematis dengan melakukan diskritisasi secara

horizontal dan vertikal untuk model 3-dimensi memiliki berbagai pro-kontra terutama dalam penggunaan diskritisasi vertikal yang cocok terhadap suatu kondisi perairan. Terdapat tiga diskritisasi vertikal yang populer digunakan berupa Sigma, Z-level, dan Combined Sigma & Z-Level (Selanjutnya disebut Hybrid). Eksperimen dilakukan untuk melihat bagaimana pengaruh diskritisasi vertikal yang dilakukan terhadap hasil model yang diperoleh sehingga diketahui keunggulan dan kekurangan diantara berbagai sistem diskritisasi. Berdasarkan alasan tersebut dilakukan eksperimen dengan tujuan mengetahui perbedaan hasil model numerik hidrodinamika 3-dimensi dengan menggunakan diskritisasi vertikal *Hybrid* dan Sigma dengan mesh horizontal yang sama.

BAHAN DAN METODE

Data penelitian menggunakan sumber sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber untuk membangkitkan pergerakan fluida sehingga kondisi fluida di alam dapat didekati melalui pembangunan model hidrodinamika. Penggunaan data meliputi data angin yang diperoleh dari ERA-5 *Reanalysis* menggunakan variabel 10m *u-component of wind* dan 10m *v-component of wind* dengan 0,25 *degree* resolusi spasial dan satu jam resolusi temporal sehingga diperoleh nilai kecepatan dan arah angin pada bulan Januari 2019. Pasang surut dipasang pada sepanjang batas terbuka dengan menggunakan data yang diperoleh dari MIKE DHI yang didasarkan pada *global tide model* data dengan resolusi spasial 0,25 *degree* dengan waktu yang sama

sesuai data angin. Data batimetri diperoleh dari Indonesia Geospatial Portal dengan resolusi spasial *6arc-second*. Sedangkan data garis pantai diperoleh dengan sumber yang sama dengan data batimetri menggunakan peta perwilayah Kabupaten Kepulauan Sula dan Kabupaten Kepulauan Taliabu. Penelitian dilaksanakan pada pada 6 Januari hingga 6 Februari 2021 di Laboratorium Hidros Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut (STTAL) Jakarta.

Model dibangun dengan dengan menggunakan persamaan model numerik 3-dimensi tak termampatkan Reynolds rata-rata Navier-Stokes dengan asumsi Boussinesq dan tekanan hidrostatik. Model ditekankan pada diskritisasi Hybrid dan Sigma. DHI (2013) membangun persamaan model sebagai berikut:

Formulasi Kontinuitas lokal diformulasikan sebagai :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S$$

Persamaan momentum terhadap sumbu x dan y dirumuskan dengan

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^n \rho \rho_0^{-1} dz \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial wv}{\partial z} = -fv - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^n \rho \rho_0^{-1} dz \quad (3)$$

dimana,

u: komponen kecepatan arah sumbu x, v: komponen kecepatan arah sumbu y, w: komponen kecepatan arah sumbu z, t: waktu, η : elevasi permukaan, d : *still water level*, h : *total water level*, F: komponen

coriolis, P: densitas air, H: elevasi permukaan, $s_{xx}, s_{xy}, s_{yx}, \partial s_{yy}$: komponen *radiation stress tensor*, V_t : viskositas eddy.

Formulasi Song dan Haidvogel (1994) melalui diskritisasi vertikal menggunakan formula Sigma dengan sistem koordinat S dengan diskritisasi equidistant pertama vertikal ($-1 \leq s \leq 0$) digunakan dengan:

$$S_i = -\frac{N_\sigma + 1 - i}{N_\sigma} \text{ dengan } i = 1, (N_\sigma + 1)$$

Diskritisasi sistem koordinat Sigma diformulasikan sebagai:

$$\sigma_i = 1 + \sigma_c s_i + (1 - \sigma_c) c(s_i) \text{ dengan } i = 1, (N_\sigma + 1)$$

dengan:

$$c(s) = (1 - b) \frac{\sin(\Theta_s)}{\sin(\Theta)} + b \frac{\tanh\left(\Theta\left(s + \frac{1}{2}\right)\right) - \tanh\left(\frac{\Theta}{2}\right)}{2 \tanh\left(\frac{\Theta}{2}\right)}$$

Keterangan:

σ_c : faktor pembobot antara distribusi equidistant dan formulasi regang, σ_c berada pada rentang ($0 < \sigma_c \leq 1$), satu menunjukkan distribusi equidistant dan 0 menunjukkan distribusi regangan, Θ : parameter kontrol permukaan ($0 < \theta \leq 20$), b: parameter kontrol dasar ($0 \leq b \leq 1$).

Sedangkan Formasi Z-Level dibangun dengan menggunakan koordinat sigma dari permukaan perairan hingga kedalaman yang ditentukan, z_σ . Diskritisasi *Z-Level* ditentukan oleh bilangan diskritisasi *Z-Level* dengan ketebalan lapisan diformulasikan dengan

$$\Delta z_i = z_{i+1} - z_i, i = 1, N_z \quad (7)$$

dengan N_z : Jumlah layer pada z -level, z_i = Minimum z -level, z_{i+1} = maksimum z -level.

Untuk mendapatkan akurasi dasar perairan dengan menggunakan sistem *Z-Level* maka diperlukan pendekatan batimetri yang lebih kompleks dimana sebuah sel pada mesh horizontal dengan kedalaman sel rata-rata (z_b) kolom sel yang sesuai dalam domain z disertakan jika kriteria berikut terpenuhi.

$$z_i > z_b \quad i = 1, N_z \tag{8}$$

Faktor koreksi yang diperlukan untuk ketebalan lapisan

$$f_i = \max \left(\frac{(z_{i+1} - z_b)}{\Delta z_i}, \frac{z_{\min}}{\Delta z_i} \right) \text{ dimana}$$

$$z_i < z_b < z_{i+1} \text{ atau } z_i > z_b \quad f_i = 1, z_i \geq z_b$$

dengan Δz_{\min} : ketebalan lapisan minimum.

Diskritisasi vertikal diatur sebagai

Tabel 1. Pengaturan Diskritisasi Vertikal

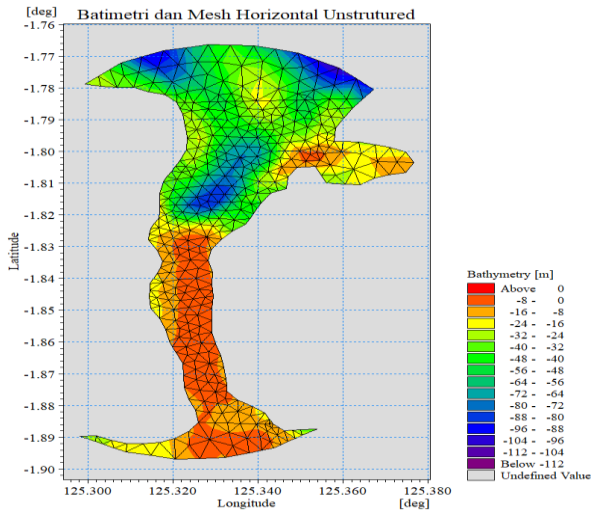
Diskritisasi	Layer	Tipe
Sigma	10	Equidistant
Hybrid		
• Sigma	5	Equidistant hingga kedalaman -52,957 meter
• Z-level	5	Equidistant hingga dasar perairan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Batimetri

Wilayah Selat Capalulu berdasarkan data yang digunakan memiliki batimetri perairan dangkal dengan rata-rata kedalaman 45,505 meter dengan bagian terdangkal berada pada sisi selatan perairan. Semakin menuju utara kedalaman perairan bertambah dalam dibandingkan sisi selatan. Terdapat cekungan pada sisi utara dengan kedalaman berada pada rentang 55

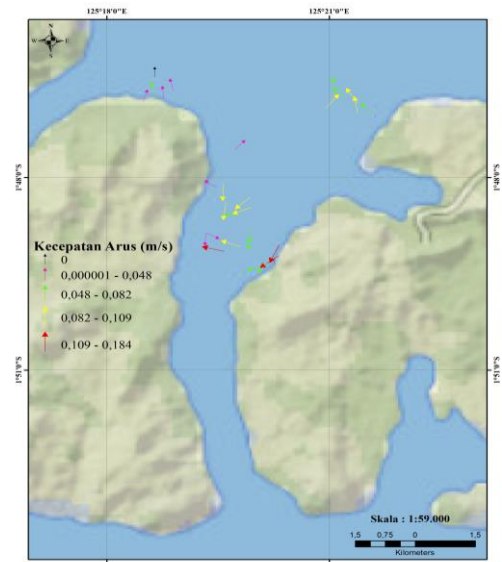
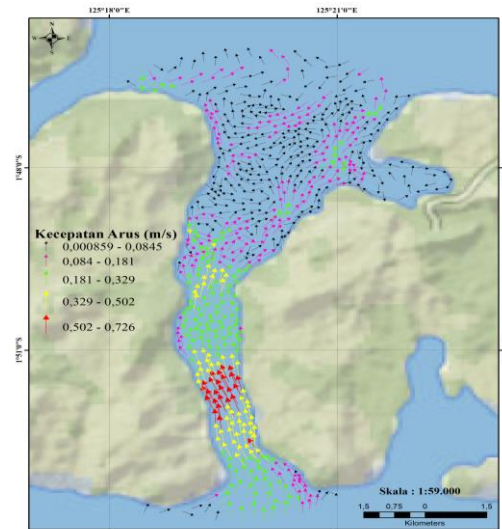
hingga 80 meter. Pada sisi timur cekungan tersebut terdapat teluk dengan kedalaman yang juga relatif dangkal. Bagian terdalam selat berada pada sisi utara pada sepanjang batas utara dengan titik terdalam berada pada kedalaman 117,263 meter. Gambaran diatas menyimpulkan bahwa selat secara umum memiliki pertambahan kedalaman dari sisi selatan menuju bagian utara dengan cekungan yang terdapat pada bagian tengah selat mendekati sisi utara. Visualiasi Batimetri didalam diskritisasi horizontal ditampilkan pada gambar 1.



Gambar 1. Batimetri dan Susunan Mesh Horizontal *Unstructured*

Pola Arus Pada Permukaan dan Dasar Perairan dengan Diskritisasi Hybrid

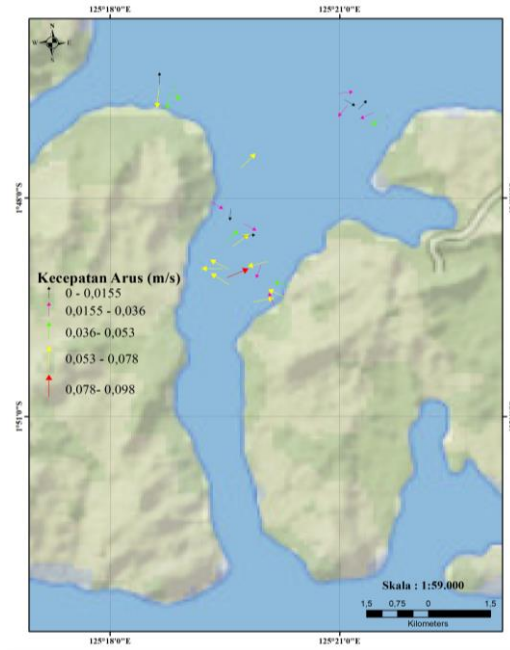
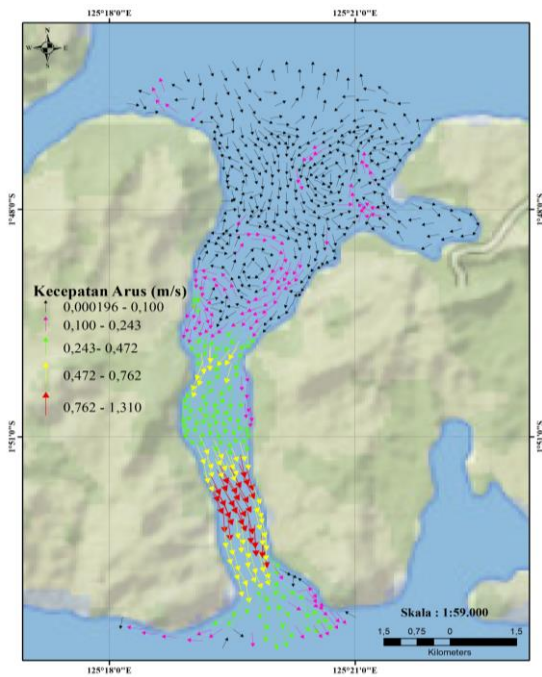
Penggambaran pola arus dilakukan pada saat pasang tertinggi dan surut terendah untuk memudahkan analisis diantara bagian permukaan dengan dasar perairan. Terlihat bahwa pada saat pasang tertinggi pola arus bergerak menuju utara dengan kecepatan maksimum 0,726 m/s pada bagian permukaan perairan. Kondisi tersebut ditemukan pada bagian selatan selat yang memiliki lebar selat lebih sempit dibandingkan sisi utara. Pengurangan kecepatan terhadap kedalaman terjadi dengan kecepatan maksimum pada dasar perairan 0,184 m/s. Selain itu melalui diskritisasi vertikal diperoleh bahwa pola pergerakan arus tidak dapat dikalkulasi dengan baik pada dasar perairan sehingga nilai arus hanya dikalkulasi pada sebagian kecil area. Visualisasi pola arus pada bagian permukaan dan dasar perairan pada saat pasang tertinggi ditampilkan pada gambar 2.



Gambar 2. Pola Arus saat Pasang Tertinggi Diskritisasi Vertikal Hybrid (Kiri: Layer Permukaan, Kanan: Layer Dasar Perairan)

Pola arus saat surut terendah memiliki pergerakan ke arah selatan dengan kecepatan arus terbesar ditemukan pada sisi selatan selat dengan kondisi celah sempit dengan kedalaman yang dangkal. Secara umum hasil diskritisasi vertikal yang dihasilkan saat surut mencapai nilai terendah memiliki hasil yang sama dengan pola pada saat arus mencapai pasang tertinggi. Pada

dasar perairan dihasilkan resolusi yang tidak baik dengan bagian terkomputasi hanya sebagian kecil dari keseluruhan area. Kondisi ini disebabkan karena resolusi dasar perairan yang lebih rendah sebagai implikasi dari diskritisasi Z yang digunakan. Tren penurunan kecepatan terhadap kedalaman tetap terjadi dengan kecepatan tertinggi pada saat surut terendah adalah 1,310 m/s dan pada dasar perairan adalah 0,0098 m/s. Visualisasi pola arus pada bagian permukaan dan dasar perairan pada saat surut terendah ditampilkan dalam gambar 3.

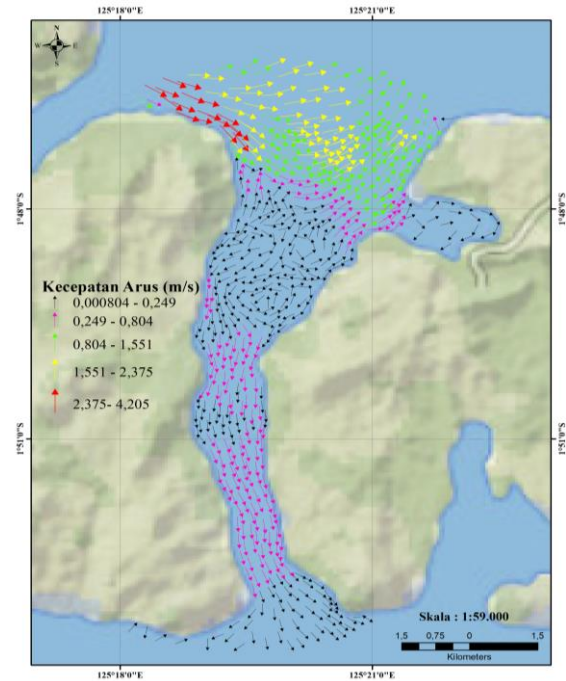
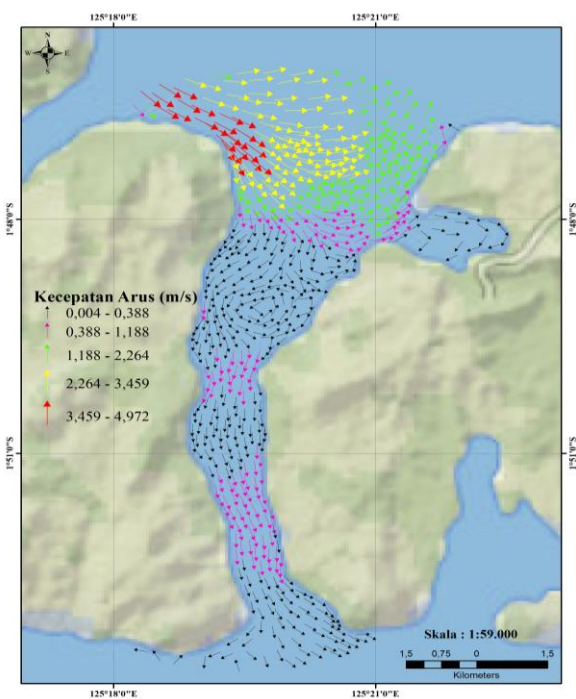


Gambar 3. Pola Arus saat Surut Terendah Diskritisasi Vertikal Hybrid (Layer Permukaan, Layer Dasar Perairan)

Pola Arus Pada Permukaan dan Dasar Perairan dengan Diskritisasi Sigma Level

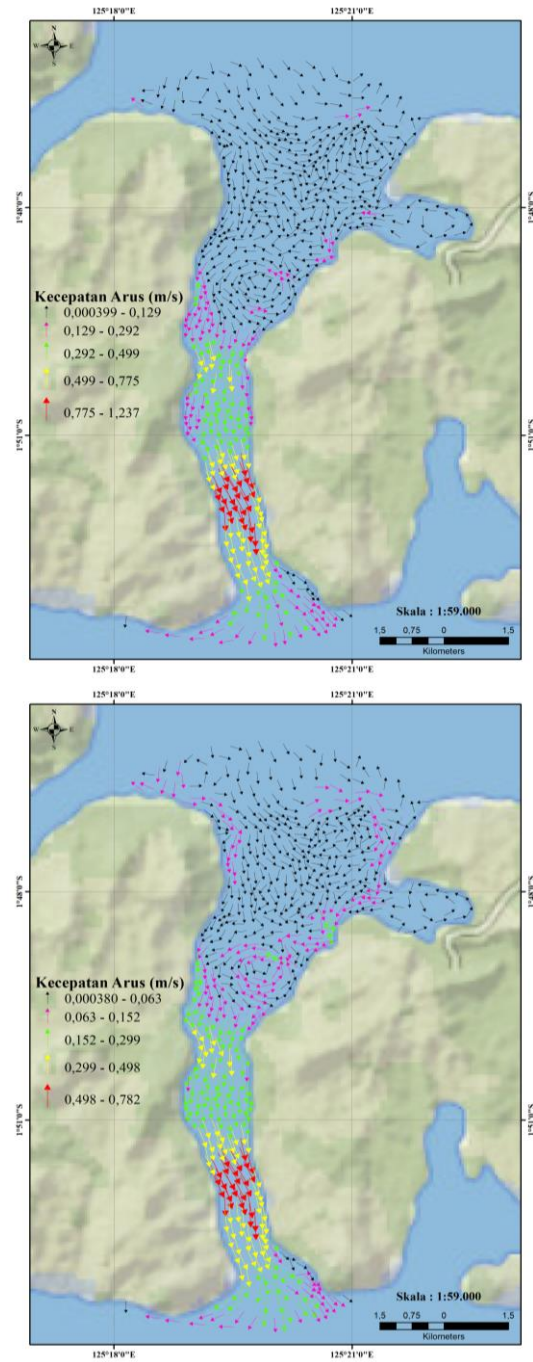
Pola arus dengan menggunakan diskritisasi Sigma Level memiliki perbedaan yang mencolok dibandingkan dengan diskritisasi Hybrid. Pada sisi batas terbuka dibagian utara terjadi “rembesan” yang menyebabkan kecepatan arus pada sisi kiri batas terbuka utara memiliki kecepatan yang besar hingga 4,972 m/s. Secara umum pada saat pasang tertinggi kecepatan arus bergerak ke arah yang berbeda dibandingkan diskritisasi sebelumnya. Arah pergerakan bergerak menuju selatan yang diduga terpengaruh “rembesan” batas terbuka disisi utara. Kecepatan yang relatif besar tersebut mendorong pergerakan air ke arah selatan selat untuk mencapai keseimbangan. Pada dasar perairan kecepatan terlihat lebih

realistis dimana keseluruhan area selat mampu dikomputasi secara baik akibat resolusi perairan yang jauh lebih baik. Penurunan kecepatan terhadap kedalaman tetap terjadi dengan kecepatan terbesar pada dasar perairan tetap terjadi pada sisi utara batas terbuka bagian kiri akibat “rembesan” tersebut. Visualisasi pola arus pada bagian permukaan dan dasar perairan pada saat pasang tertinggi ditampilkan dalam gambar 4.



Gambar 4 Pola Arus saat Pasang Tertinggi Diskritisasi Vertikal Sigma Level (Kiri: Layer Permukaan, Kanan: Layer Dasar Perairan)

Pola pergerakan arus pada saat surut terendah dengan menggunakan diskritisasi Sigma memiliki pola yang sama dengan diskritisasi Hybrid. Pola pergerakan arus bergerak menuju sisi selatan selat dengan kecepatan terbesar ditemukan pada sisi selatan selat dengan area yang sama. Kecepatan maksimum pada permukaan perairan bernilai 1,237 m/s dengan pengurangan nilai terhadap kedalaman sehingga dihasilkan kecepatan maksimum pada dasar perairan adalah 0,782 m/s. Pola arus pada dasar perairan bersifat lebih realistis dengan resolusi yang lebih bagus sehingga keseluruhan dasar perairan mampu terkomputasi dengan baik. Visualisasi pola arus pada bagian permukaan dan dasar perairan pada saat surut terendah ditampilkan dalam gambar 5.



Gambar 5. Pola Arus saat Surut Terendah Diskritisasi Vertikal Sigma Level (Kiri: Layer Permukaan, Kanan: Layer Dasar Perairan)

Tren Kecepatan Terhadap Kedalaman

Tren kecepatan terhadap kedalaman disampelkan melalui tiga titik yang diwakilkan terhadap titik yang memiliki kecepatan terbesar dengan acuan diskritisasi Sigma. Dua titik pertama merupakan titik yang memiliki kecepatan arus terbesar pada sepanjang bulan Januari 2019. Sedangkan titik ketiga merupakan kedalaman yang dianggap stabil serta mampu mewakili diskritisasi pada lapisan dasar perairan setelah diskritisasi Sigma berakhir pada diskritisasi Hybrid. Koordinat ekstraksi ditampilkan dalam tabel 2.

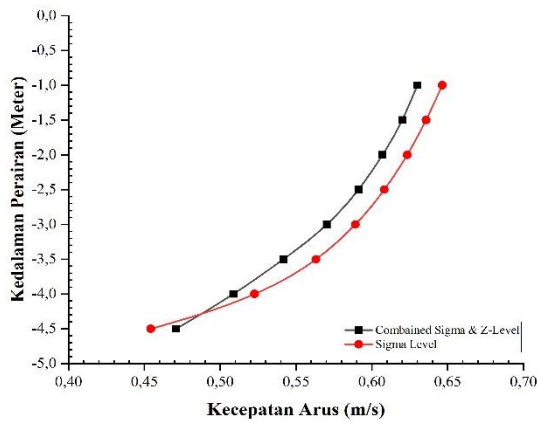
Tabel 2. Koordinat Ekstraksi Arus Terhadap Kedalaman.

Titik	Longitude	Latitude
1	125.323393	-1.86408149
2	125.321597	-1.78341155
3	125.328136	-1.815845

Perbandingan Tren Kecepatan Terhadap Kedalaman Diskritisasi Vertikal Hybrid dengan Diskritisasi Sigma Level

Tren kecepatan arus terhadap kedalaman pada titik pertama dengan kedalaman maksimal terekstraksi 4,5 meter menunjukkan bahwa tren perubahan terhadap kecepatan terjadi dengan kurva seolah-olah membentuk eksponensial. Kondisi yang sama juga terjadi pada diskritisasi Sigma Level dimana pengurangan kecepatan terhadap kedalaman juga membentuk eksponensial dengan tren kecepatan yang lebih rendah dibandingkan diskritisasi Hybrid dengan

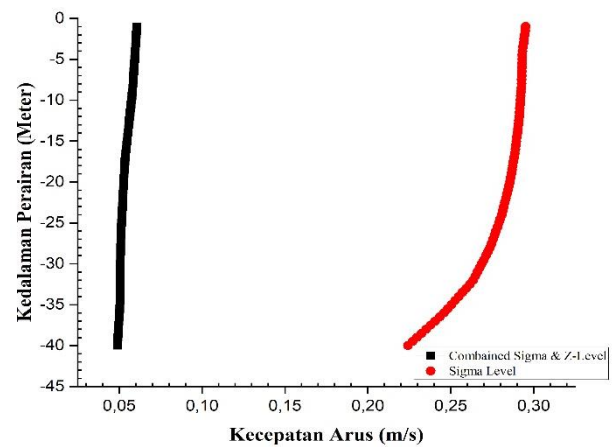
perbedaan nilai yang sangat tipis. Visualisasi pada titik tersebut dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Grafik Tren Perubahan Kecepatan Diantara Diskritisasi Hybrid dengan Sigma Level pada Titik 1.

Pada titik kedua dengan kedalaman maksimal terekstraksi 40 meter pengurangan kecepatan terhadap kedalaman tetap terjadi dengan kurva yang sama. Pengurangan sedikit ekstrim ketika arus memasuki kedalaman 30 meter yang diduga karena akan terjadi transisi antara diskritisasi Sigma dengan Z-Level pada kedalaman sesudahnya, dimulai dari kedalaman 52,957. Perbedaan nilai sangat signifikan diantara kedua diskritisasi dimana diskritisasi Hybrid memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan Sigma. Kondisi ini disebabkan oleh dominan faktor dimana pada diskritisasi Sigma pada batas terbuka terjadi “rembesan” yang mempengaruhi keseluruhan nilai arus baik pada kedalaman ataupun secara horizontal. Titik ekstraksi yang berlokasi dekat dengan area tersebut menyebabkan terjadi perbedaan yang sangat signifikan terhadap kedua diskritisasi walaupun tren pengurangan kecepatan terhadap

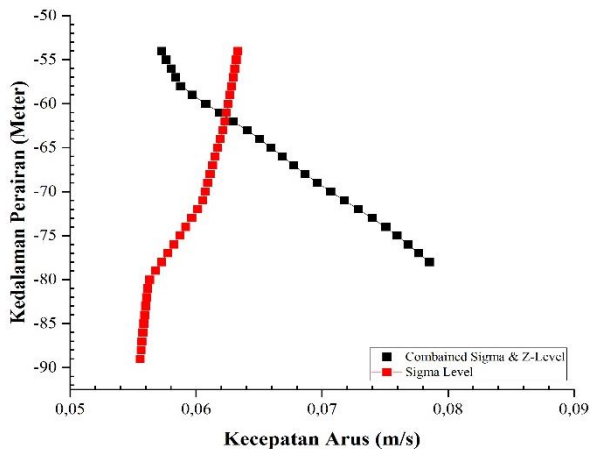
kedalaman tetap terjadi. Visualisasi ditampilkan pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik Tren Perubahan Kecepatan Diantara Diskritisasi Hybrid dengan Sigma Level pada Titik 2.

Pada titik ketiga setelah memasuki diskritisasi Z-Level terlihat bahwa kurva arus terhadap kedalaman bergerak tidak realistis dengan adanya penambahan kecepatan terhadap kedalaman yang seharusnya tidak terjadi. Hal ini disebabkan karena pembangunan model dilakukan secara barotropik sehingga secara teoritis kecepatan akan semakin berkurang ketika mendekati dasar perairan akibat adanya transfer energi menjadi gesekan hingga disipasi energi. Sedangkan pada titik yang sama setelah melewati kedalaman Sigma pada diskritisasi Hybrid, Sigma level memiliki sifat yang lebih baik dalam merepresentasikan perubahan kecepatan dengan terjadinya pengurangan nilai terhadap kedalaman. Hasil ini jauh lebih realistis dibandingkan dengan diskritisasi Hybrid dengan sifat Z-level pada kedalaman tersebut. Selain itu resolusi Sigma yang dihasilkan jauh lebih baik

dibandingkan diskritisasi Z-Level sehingga nilai kedalaman pada diskritisasi Sigma mampu diekstraksi hingga kedalaman 89 meter. Gambar 8 adalah visualisasi pada titik 3.



Gambar 8. Grafik Tren Perubahan Kecepatan Diantara Diskritisasi Hybrid dengan Sigma Level pada Titik 3.

Verifikasi

Verifikasi dilakukan terhadap aspek pasang surut dengan membandingkan antara ketinggian muka air yang dihasilkan oleh model dengan Nao Tide yang disebabkan karena keterbatasan data. Verifikasi dilakukan pada tiga titik disepanjang selat secara berurutan dari bagian utara, tengah, dan selatan sehingga diperoleh keseluruhan informasi pada bagian selat. Nilai verifikasi pada masing-masing diskritisasi vertikal ditampilkan dalam tabel 3.

Tabel 3. Verifikasi Diskritisasi Vertikal dengan Menggunakan Pasang Surut

Diskritisasi Vertikal	Titik	Koordinat	RMSE	Korelasi Pearson
Hybrid	1	(125.340136) , (-1.779662)	0,05706	0,982
	2	(125.3245) , (-1.8494)	0,05874	0,981
	3	(125.333595) , (-1.888955)	0,10739	0,965
Sigma Level	1	(125.340136) , (-1.779662)	0,0576	0,98
	2	(125.3245) , (-1.8494)	0,0812	0,969
	3	(125.333595) , (-1.888955)	0,10712	0,966

Melalui verifikasi diatas dapat dijelaskan bahwa secara umum terhadap aspek pasang surut yang terjadi pada wilayah Selat Capalulu tidak terjadi perbedaan signifikan diantara kedua sistem diskritisasi. Namun apabila menggunakan ketelitian angka penting

yang lebih banyak diskritisasi Sigma memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi jika dibandingkan Hybrid.

PEMBAHASAN

Diskritisasi dengan menggunakan sistem Hybrid dimana sistem terbagi menjadi dua tipe berupa gabungan diskritisasi Sigma dan Z-Level memberikan

keuntungan terhadap beban komputasi sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mengkalkulasi domain pada bagian dasar perairan jauh lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan full Sigma. Kalkulasi pada bagian dasar perairan dilakukan dengan sistem yang lebih sederhana melalui koordinat kartesian dengan pendekatan kisi-kisi seperti tangga dalam mendiskritisasi domain vertikal. Ketiga titik sampel diatas menunjukkan bahwa pada kedalaman Sigma dalam diskritisasi Hybrid dan Diskritisasi Sigma itu sendiri terjadi tren pengurangan akibat adanya disipasi energi serta gesekan antara air dengan perairan baik dengan dasar perairan ataupun air dikolom perairan itu sendiri. Tren pengurangan bersifat eksponensial dimana ketika diskritisasi Hybrid memasuki kedalaman Z maka terjadi perubahan tren dengan peningkatan terhadap kedalaman. Faktor tersebut dapat disebabkan karena resolusi dasar perairan yang buruk sehingga menyebabkan tren kecepatan yang menjadi tidak realistis. Kondisi ini dihasilkan melalui kesalahan pemotongan melalui distribusi dasar perairan yang bersifat datar dipisahkan oleh lereng curam (Song & Hou, 2006). Selain itu kondisi ini juga dapat dihasilkan melalui kesalahan representasi bertahap (Gerdes, 1993). Kesalahan lainya pada penggunaan Z-Level pada dasar perairan adalah ketidakmampuan diskritisasi untuk mengidentifikasi pusaran air (eddy) yang mungkin terjadi pada perairan (Bell, 1999). Namun melalui representasi Z-level kalkulasi gradien tekanan horizontal, adveksi, dan pencampuran menjadi lebih sederhana dibandingkan Sigma (DHI, 2013).

Berdasarkan gambar 2 dan 3 diatas terlihat bahwa ketika kedalaman akan memasuki transisi diskritisasi pada sistem Hybrid terjadi anomali kecepatan perairan. Pada gambar 2 melalui kedalaman Sigma dengan sistem Hybrid mendekati dasar perairan sistem Sigma masih bekerja dengan baik dalam merepresentasikan kedalaman. Namun pada gambar 3 ketika sistem Z Level dibandingkan dengan Sigma maka terjadi anomali dengan prinsip anomali dimulai ketika sistem diskritisasi diantara Sigma dan Z mengalami transisi pada sistem Hybrid. Kondisi tersebut dapat menjadi sumber kesalahan diantara gabungan diskritisasi pada sistem Hybrid dengan menghasilkan nilai berlebih dan mengurangi momentum (Zhang *et al.*, 2015). Sistem Hybrid mampu menghasilkan nilai galat yang lebih rendah ketika melakukan model secara baroklinik. Kondisi tersebut bersifat lebih baik dibandingkan dengan melakukan model secara Sigma saja ataupun secara Z-Level saja (Burchard & Petersen, 1997)

Pada sistem Sigma diskritisasi dilakukan dengan cara “meregangkan” domain sehingga dihasilkan komputasi yang lebih seragam. Kondisi tersebut berdampak terhadap resolusi dasar perairan yang dihasilkan jauh lebih halus. Namun pada sisi permukaan resolusi yang baik tidak dapat dipertahankan dengan maksimal (Song & Hou, 2006) Sistem diskritisasi dengan prinsip Sigma tersebut diperbaiki dengan memberikan fungsi perengangan pada bagian permukaan melalui koordinat S (Song & Haidvogel, 1994). Melalui sistem Sigma dasar perairan yang memiliki kelerangan relatif landai memiliki kalkulasi yang lebih baik serta kondisi batas kinematik dan

tegangan bawah memiliki nilai yang lebih baik dengan sistem tersebut.

Pembangunan model yang dilakukan secara barotropik akan menyebabkan terjadinya disipasi energi pasang surut yang menjadi faktor pembangkit arus pada sepanjang batas terbuka akibat gesekan dengan dasar perairan (Egbert & Ray, 2001) hingga perpindahan momentum (Broström, 2005).

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa terjadi perbedaan diantara diskritisasi Sigma dan Hybrid. Simulasi model secara barotropik menunjukkan bahwa diskritisasi Sigma memiliki hasil yang lebih baik dalam merepresentasikan aliran pada dasar perairan. Secara umum pengurangan nilai kecepatan terhadap kedalaman terjadi diantara kedua sistem diskritisasi. Namun pada sistem diskritisasi Hybrid pada saat transisi antara Sigma dan Z-level terjadi anomali dimana ketika memasuki kedalaman Z maka kecepatan arus bertambah terhadap kedalaman.

Penelitian ini pada masa mendatang dapat dilakukan dalam sistem baroklinik guna mendapatkan perbedaan yang lebih signifikan pada perairan. Selain itu diperlukan instrumen validasi yang kuat yang dapat merepresentasikan nilai kecepatan pada kedalaman baik pada dasar, kolom, hingga permukaan perairan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Seluruh penulis adalah kontributor utama pada studi dan artikel ini. Penelitian dilaksanakan di laboratorium komputasi dan pengolahan data Hidro Oseanografi Prodi Hidrografi Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut (STTAL) di Jakarta Utara.

DAFTAR PUSTAKA

- Azis, M. F. (2006). Gerak Air Dilaut. *Oseana*, 39(3), 9–21.
- Bell, M. J. (1999). Vortex stretching and bottom torques in the Bryan-Cox ocean circulation model. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 104(C10), 23545–23563. <https://doi.org/10.1029/1999jc900064>
- Broström, G. (2005). Wave-forced barotropic currents. *Journal of Physical Oceanography*, 35(11), 2237–2249. <https://doi.org/10.1175/JPO2802.1>
- Burchard, H., & Petersen, O. (1997). Hybridization between σ - and z-coordinates for improving the internal pressure gradient calculation in marine models with steep bottom slopes. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 25(9), 1003–1023. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0363\(19971115\)25:9<1003::aid-fld600>3.0.co;2-e](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0363(19971115)25:9<1003::aid-fld600>3.0.co;2-e)
- DHI. (2013). *MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM - Hydrodynamic and Transport Module*. 14.
- Egbert, G. D., & Ray, R. D. (2001). Estimates of M2 Tidal Energy Dissipation from TOPEX/Poseidon Altimeter Data. *Journal of Geophysical Research*, 106, 475–502.
- Gerdes, R. (1993). Primitive Equation Ocean Circulation Model Using a General Vertical Coordinate Transformation. *Journal of Geophysical Research*, 98(1), 14683–14701.

/Users/matt/Documents/Biblio/Vertical_Coordinates/Gerdes_JGR_1993.pdf

- Kantha, L. H., & Clayson, C. . (2006). *Numerical Models of Oceans and Oceanic Processes* (R. Dmowska, J. R. Holton, & T. Rossby (eds.)). Academic Press.
- Paul, S., Ooppelstrup, J., Thunvik, R., Magero, J. M., Walakira, D. D., & Cvetkovic, V. (2019). Bathymetry development and flow analyses using two-dimensional numerical modeling approach for lake Victoria. *Fluids*, 4(4). <https://doi.org/10.3390/fluids4040182>
- Royce, W. F. (1984). *Introduction to the Practice of Fishery Science Revised Edition* (Vol. 1996). Academic Presss. <https://doi.org/10.1016/c2013-0-11424-9>
- Setianto, S. F., Sukoco, N. B., & Pranowo, W. S. (2021). Pemodelan Pola Arus 2 Dimensi Musiman dan Dinamis Multilayer Kedalaman di Laut Banda. *Jurnal HIDROPILAR*, 6(1), 14–20. <https://doi.org/10.37875/hidropilar.v6i1.174>
- Song, Y., & Haidvogel, D. (1994). A semi-implicit ocean circulation model using a generalized topography-following coordinate system. In *Journal of Computational Physics* (Vol. 115, Issue 1, pp. 228–244). <https://doi.org/10.1006/jcph.1994.1189>
- Song, Y. T., & Hou, T. Y. (2006). Parametric vertical coordinate formulation for multiscale, Boussinesq, and non-Boussinesq ocean modeling. *Ocean Modelling*, 11(3–4), 298–332. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2005.01.001>
- Zhang, Y. J., Ateljevich, E., Yu, H. C., Wu, C. H., & Yu, J. C. S. (2015). A new vertical coordinate system for a 3D unstructured-grid model. *Ocean Modelling*, 85, 16–31. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2014.10.003>