

Kondisi Hidrodinamika dan Transpor Sedimen di Perairan Muara Sungai Ayung dengan Simulasi Delft 3D

Putu Indah Dianti Putri^{1,*}, Muhammad Syahril Badri Kusuma²

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pendidikan Nasional, Denpasar¹, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung, Bandung²

Koresponden*, Email: indahdianti@undiknas.ac.id

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	13 Juni 2023	<i>The morphology of river mouths is influenced by several factors, including waves, river discharge, tides, currents, and those caused by human intervention. This study explores the dynamics of erosion and sedimentation processes in the estuary of the Ayung River caused by lithology, wind, tides, currents, and waves. This study aimed to determine the effect of river discharge, tides, currents, and waves on erosion and sedimentation in the waters of the Ayung River Estuary. Hydrodynamics and sediment transport modeling using Delft 3D software. As a validation of the modeling results, a calibration was performed on the results of hydrodynamic parameter measurements that had been carried out previously. The review conditions are divided into the rainy season (December – March) and the dry season (April – November). River discharge, tides, currents, and waves affect littoral processes on the shoreline around the waters of the Ayung River. This influence causes erosion and sedimentation around the coastal area and affects sediment transport both in the rainy and dry seasons.</i>
Diperbaiki	21 Agustus 2023	
Disetujui	06 September 2023	

Keywords: hydrodynamic, sediment transport, Delft 3D, estuary

Abstrak

Morfologi muara sungai dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya gelombang, debit sungai, pasang surut, dan arus serta yang disebabkan oleh campur tangan manusia. Kajian ini mengeksplorasi dinamika proses erosi dan sedimentasi di perairan muara Sungai Ayung yang disebabkan oleh litologi, angin, pasang surut, arus, dan gelombang. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh debit sungai, pasang surut, arus, dan gelombang terhadap erosi dan sedimentasi yang terjadi di perairan Muara Sungai Ayung. Pemodelan hidrodinamika dan transpor sedimen menggunakan software Delft 3D. Sebagai validasi hasil pemodelan, dilakukan kalibrasi terhadap hasil pengukuran parameter hidrodinamika yang telah dilakukan sebelumnya. Kondisi tinjauan terbagi menjadi musim hujan (Desember – Maret) dan musim kemarau (April – November). Debit sungai, pasang surut, arus, dan gelombang mempengaruhi proses litoral di garis pantai sekitar perairan Sungai Ayung. Pengaruh tersebut menyebabkan terjadinya erosi dan sedimentasi di sekitar kawasan pantai serta mempengaruhi angkutan sedimen baik pada musim hujan maupun musim kemarau.

Kata kunci: hidrodinamik, transpor sedimen, Delft 3D, muara sungai

1. Pendahuluan

Muara sungai didefinisikan sebagai bagian hilir dari suatu sungai yang berhubungan dengan laut [1], [2], [3]. Muara sungai berfungsi sebagai pengeluaran (*outlet*) terhadap akumulasi debit dari sungai bagian hulu (DAS) ke laut [4], [5]. Morfologi muara sungai ditentukan oleh faktor dominan yang mempengaruhinya. Faktor-faktor tersebut adalah gelombang, debit sungai, pasang surut dan arus maupun yang disebabkan oleh campur tangan manusia [6], [7], [8], [9], [10]. Beberapa faktor tersebut bekerja secara simultan di muara sungai, meskipun terdapat salah satu diantaranya yang memberikan pengaruh lebih besar. Oleh karena itu, bentuk penampang aliran muara sungai akan menyesuaikan dengan gaya-gaya hidrodinamis yang terus menerus terjadi [11], [12], [13].

Penelitian ini mengeksplorasi dinamika proses erosi dan sedimentasi di perairan Muara Sungai Ayung yang diakibatkan oleh faktor litologi, angin, pasang surut, arus dan gelombang. Sungai Ayung yang bermuara di Selat Badung merupakan sungai tipe perenial, yaitu sungai yang memiliki debit aliran dasar (*baseflow*) sepanjang tahun sehingga dapat mengalirkan debit pada saat musim hujan dan kemarau. Pada musim kemarau, penutupan oleh sedimen terjadi pada muara di bagian utara. Hal ini disebabkan debit sungai yang kecil sehingga tidak mampu mempertahankan pembukaan muara dan arah datang gelombang dominan dari timur laut.

Daerah Aliran Sungai Ayung merupakan daerah aliran sungai terluas dan panjang sungai terpanjang di Pulau Bali. Panjang sungai utama yaitu 69,36 km dan mempunyai daerah aliran sungai keseluruhan seluas 300,84 km² [14], [15]. Erosi

di DAS Ayung diprediksi dari sangat ringan hingga sangat berat berkisar dari 0,98 hingga 1.717,12 ton/ha/tahun. Erosi yang sangat ringan terjadi pada dalam penggunaan sawah dan hutan, sedangkan erosi yang sangat berat terjadi pada penggunaan lahan campuran, lahan budidaya, dan semak belukar [16].

Pantai di sekitar muara Sungai Ayung mengalami proses littoral yang dinamis. Sungai Ayung termasuk dalam wilayah Daerah Aliran Sungai Ayung yang bermuara di Kota Denpasar. Daerah pantai yang ditinjau membentang dari selatan menuju utara yang ditandai dengan pengambilan sampel pada lokasi tersebut. Lokasi penelitian dan lokasi pengambilan data ditunjukkan pada **Gambar 1**.

Menurut BBWS Bali Penida, daerah pantai disekitar muara Sungai Ayung mengalami erosi yang cukup serius. Ruas pantai di sekitar muara dan panjang pantai terabrasi diantaranya: 1) Pantai Matahari Terbit 1,92 km, 2) Pantai Padang Galak 1,77 km, 3) Pantai Biaung dan Pantai Tangtu 0,87 km, 4) Pantai Gemicik 0,64 km, dan 5) Pantai Ketewel 3,10 km. Daerah ini menjadi sangat rentan karena jumlah penduduk yang besar. Penahan gelombang yang sederhana seperti revetment tumpukan batu maupun beton sudah dilakukan, namun upaya tersebut belum mampu mengurangi resiko bahaya erosi atau abrasi. Berdasarkan permasalahan

tersebut, penulis tertarik untuk melakukan kajian terhadap dinamika erosi dan sedimentasi pada perairan muara Sungai Ayung dengan melakukan investigasi terhadap kondisi hidrodinamika (arus, pasang surut dan gelombang) dan transpor sedimen. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi atau pola hidrodinamika dan transpor sedimen serta mengetahui pengaruh debit, pasang surut, arus dan gelombang terhadap proses erosi dan sedimentasi yang terjadi di perairan muara Sungai Ayung.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder dalam perhitungan dan analisis. Data primer terdiri dari sedimen dasar (BL), sedimen layang (TSS), arus dan penampang melintang sungai. Data sekunder terdiri dari curah hujan, pasang surut, angin, peta batimetri, peta kontur, dan peta tata guna lahan.

Untuk mengetahui pengaruh debit, pasang surut dan gelombang terhadap erosi dan sedimentasi yang terjadi di perairan muara Sungai Ayung dilakukan pemodelan hidrodinamika dan transpor sedimen menggunakan bantuan software Delft 3D. Pengolahan data dan pemodelan yang dilakukan diantaranya sebagai berikut:



Gambar 1. Lokasi Penelitian dan Pengambilan Data

a. Debit

Data yang diolah yaitu data curah hujan harian selama 10 tahun (2009-2018) yang tercatat pada lima stasiun pengukuran hujan yaitu Stasiun Bedugul, Pengotan, Tegalalang, Mambal dan Sanglah. Tahapan pengolahan data curah hujan yaitu menghitung hujan wilayah dengan Poligon Thiessen, analisis distribusi frekuensi dan uji kesesuaian distribusi frekuensi [17]. Selanjutnya dicari debit pada masing-masing musim basah ($Q_{20\%}$) dan musim kering ($Q_{80\%}$) dengan model hujan-limpasan NRECA yang menjadi *input flow* pada pemodelan Delft 3D [18]. Evapotranspirasi dihitung menggunakan metode Penman-Monteith [19].

b. Angin - Gelombang

Dikarenakan pada penelitian ini tidak dilakukan pengukuran gelombang, maka data angin digunakan untuk hindcasting gelombang pada daerah yang ditinjau [20]. Data angin yang diolah merupakan data angin jam-jaman selama 10 tahun (2009-2018) yang diperoleh dari ECWMF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*). Data angin dikoreksi terlebih terhadap koreksi elevasi, stabilitas, tempat, durasi dan geser [21],[22].

Data angin diklasifikasikan terhadap arah dan kecepatan kedalam windrose menggunakan bantuan software WRPLOT. Hindcasting gelombang menggunakan Metode *Shore Protection Manual* (1984) [21]. Pembuatan fetch dilakukan dengan menggunakan peta citra satelit google earth. Dari pengolahan data angin ini dihasilkan tinggi dan periode gelombang signifikan untuk musim basah dan musim kering.

c. Batimetri dan penampang sungai

Data batimetri yang diolah bersumber dari Pushidrosal. Batimetri yang didapatkan dilakukan koreksi terlebih dahulu sebelum digunakan dalam pembuatan *mesh* dan *water depth* pada pemodelan hidrodinamika dan transpor sedimen. Hal ini dilakukan agar pemodelan hidrodinamika dan transpor sedimen sesuai dengan kenyataan di lapangan. Data penampang sungai didapatkan dari penelitian terdahulu yang pernah dilakukan sebelumnya pada lokasi tinjauan.

d. Sedimen

Data sedimen yang dipakai pada penelitian ini adalah sedimen dasar (BL) dan sedimen layang (TSS). Sedimen dasar diambil menggunakan *grab sampler* pada stasiun tinjauan sebanyak 500 gram. Sampel sedimen diambil pada lokasi tinjauan yaitu sedimen sungai dua titik (muara sungai dan hulu sungai) dan sedimen pantai sebanyak tujuh titik yang mewakili segmen pantai yang akan ditinjau pada pemodelan transpor sedimen. Sampel sedimen dasar dilakukan pengujian ukuran butir sedimen (ayakan) dan berat jenis di laboratorium. Karakteristik ukuran butir sedimen

yang menjadi input pada pemodelan transpor sedimen adalah ukuran butir sedimen d_{50} (satuan mm).

Sedimen layang diambil sebanyak 500 ml menggunakan alat Botol Delft pada satu titik tinjauan yang berada di mulut muara sungai pada saat kondisi air pasang dan kondisi air surut. Selanjutnya sampel layang dilakukan pengujian TSS mengikuti prosedur SNI No. 06-6989.3-2004 tentang cara uji padatan tersuspensi total secara gravimetri untuk mendapatkan konsentrasi sedimen layang dalam satuan mg/liter. Sedimen diklasifikasikan berdasarkan ukuran butir dan jenis sedimen menggunakan klasifikasi USDA [23], [24].

e. Pasang Surut

Pada penelitian ini tidak dilakukan pengukuran pasang surut sehingga digunakan data peramalan pasang surut dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Data yang digunakan adalah data pasang surut setiap jam selama 30 hari. Untuk mendapatkan karakteristik, tipe pasang surut, dan elevasi air penting digunakan Metode *Least Square* [25].

f. Pemodelan Hidrodinamika dan Transpor Sedimen

Pemodelan hidrodinamika dan transpor sedimen dilakukan menggunakan software Delft 3D. Sebagai validasi hasil pemodelan dilakukan kalibrasi dengan hasil pengukuran parameter hidrodinamika yang telah dilakukan sebelumnya. Delft 3D adalah perangkat pemodelan yang cocok untuk menginvestigasi aliran hidrodinamika (arus, gelombang, pasang surut), transpor sedimen, morfologi dan kualitas air di sungai, muara, ataupun wilayah pesisir [26], [27], [28]. Salah satu kelebihan software Delft 3D yaitu dapat diaplikasikan pada area perairan yang beragam dan bentuk kompleks seperti bentuk sungai meander, muara sungai, teluk dan perairan laut [29]. Modul yang digunakan pada Delft 3D yaitu modul FLOW untuk simulasi pasang surut, aliran sungai dan debit sungai dan modul WAVE untuk perambatan gelombang.

3. Hasil dan Pembahasan

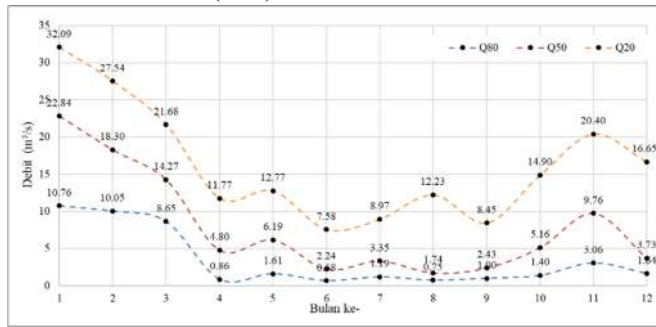
Untuk mencapai tujuan dari penelitian ini, dilakukan beberapa analisis yang meliputi analisis inputan model, analisis model hidrodinamika dan transpor sedimen, dan analisis verifikasi model erosi sedimentasi pantai.

3.1 Hasil Analisis Input Model

a. Analisis Debit

Pola debit sungai yang menjadi input flow pada pemodelan merupakan debit andalan pada musim basah ($Q_{20\%}$) dan musim kering ($Q_{80\%}$) dalam bentuk time series data bulanan. Debit andalan pada DAS Ayung pada kondisi musim basah ($Q_{20\%}$) didapatkan debit maksimum sebesar 32.09 m³/dt (Januari) dan debit minimum sebesar 7,58 m³/dt (Juni). Kondisi musim kering ($Q_{80\%}$) didapatkan debit

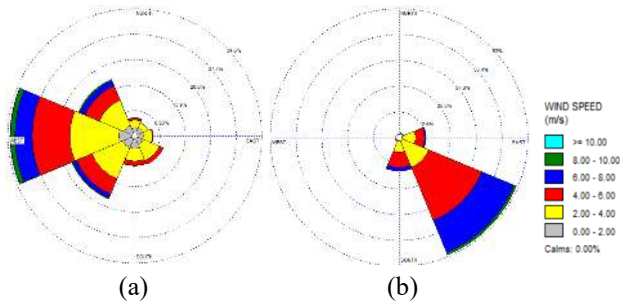
maksimum sebesar 10,76 m³/dt (Januari) dan debit minimum sebesar 0.68 m³/dt (Juni).



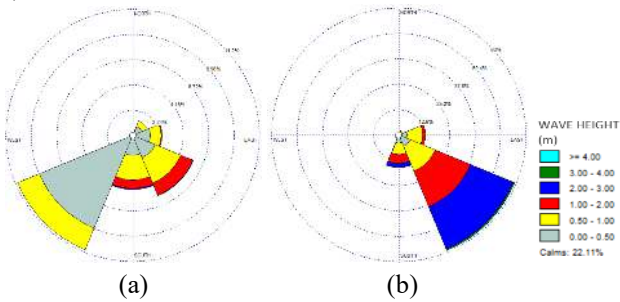
Gambar 2. Pola Input Flow Debit Sungai

b. Analisis Angin - Hindcasting Gelombang

Data angin dapat digunakan untuk memperkirakan tinggi dan arah gelombang karena angin mengakibatkan bangkitan gelombang laut. Data angin diolah dan dihitung untuk mendapatkan jumlah dan persentase kejadian angin dan gelombang berdasarkan klasifikasi arah mata angin yaitu Utara, Timur Laut, Timur, Tenggara, Selatan, Barat Daya, Barat dan Barat Laut dan digambarkan dalam bentuk diagram windrose seperti pada Gambar 3 dan diagram waverose pada Gambar 4.



Gambar 3. Windrose Musim Basah (a) dan Musim Kering (b)



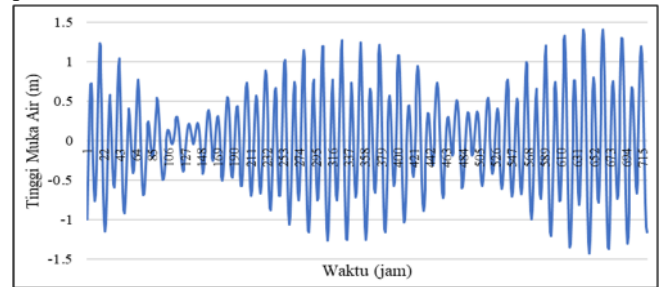
Gambar 4. Waverose Musim Basah (a) dan Musim Kering (b)

Pada musim basah distribusi arah angin dominan yang terjadi berasal dari arah barat dengan persentase frekuensi terbesar pada kecepatan angin 2-4 m/s. Sementara pada musim kering distribusi arah angin dominan berasal dari arah tenggara dengan persentase frekuensi terbesar pada kecepatan angin 4-6 m/s. Untuk waverose yang dibangkitkan

melalui hindcasting gelombang, didapatkan pada musim basah distribusi arah gelombang dominan datang dari arah barat daya dengan persentase frekuensi terbesar pada ketinggian gelombang 0-0,5 m. Sementara pada musim kering distribusi arah gelombang dominan datang dari arah tenggara dengan persentase frekuensi terbesar pada ketinggian gelombang 2-3 m.

c. Analisis Pasang Surut

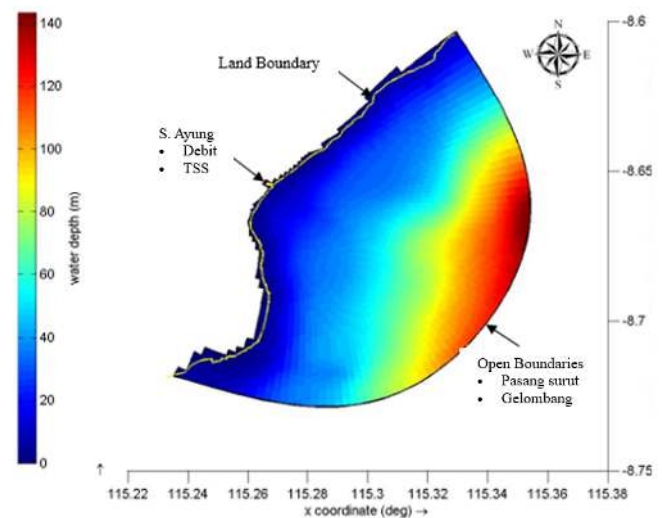
Berdasarkan hasil peramalan menggunakan Metode Least Square didapatkan Bilangan Formzhall sebesar 0.48, sehingga dapat dikategorikan bahwa jenis pasang surut pada lokasi studi adalah *Mixed, predominantly diurnal tide*, dimana dalam satu hari terjadi satu kali pasang dan satu kali surut tetapi terkadang dengan dua kali pasang dan dua kali surut yang memiliki perbedaan tinggi dan waktu. Tinggi muka air pada stasiun tinjauan (Stasiun Benoa) ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Tinggi Muka Air Pasang Surut Sta. Benoa

3.2 Model Hidrodinamika

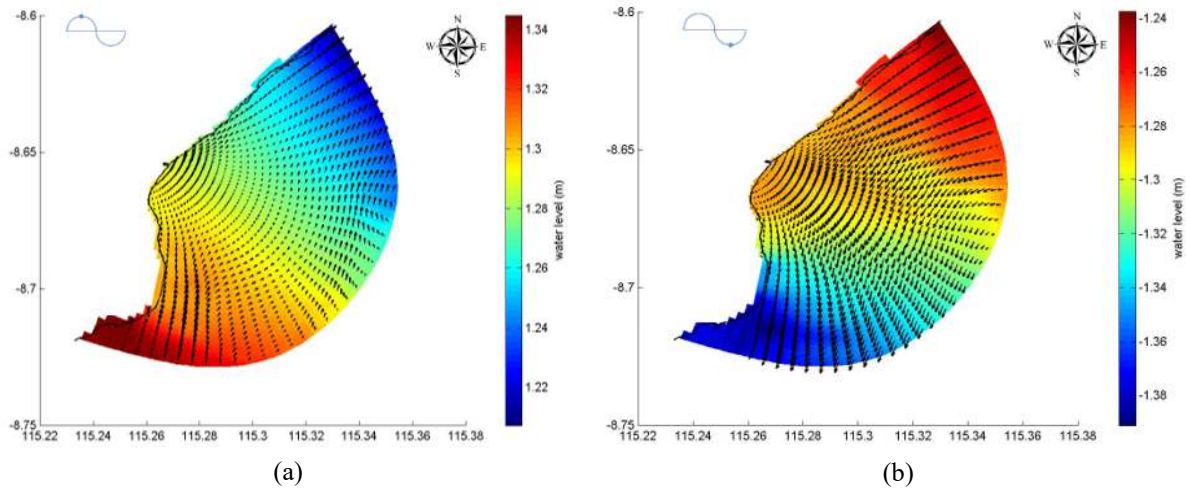
Pemodelan hidrodinamika menggunakan kondisi batas yang terjadi dari *open boundary* (laut terbuka) dengan input data konstituen pasang surut, *land boundary* (garis pantai), dan sungai dengan *input flow* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



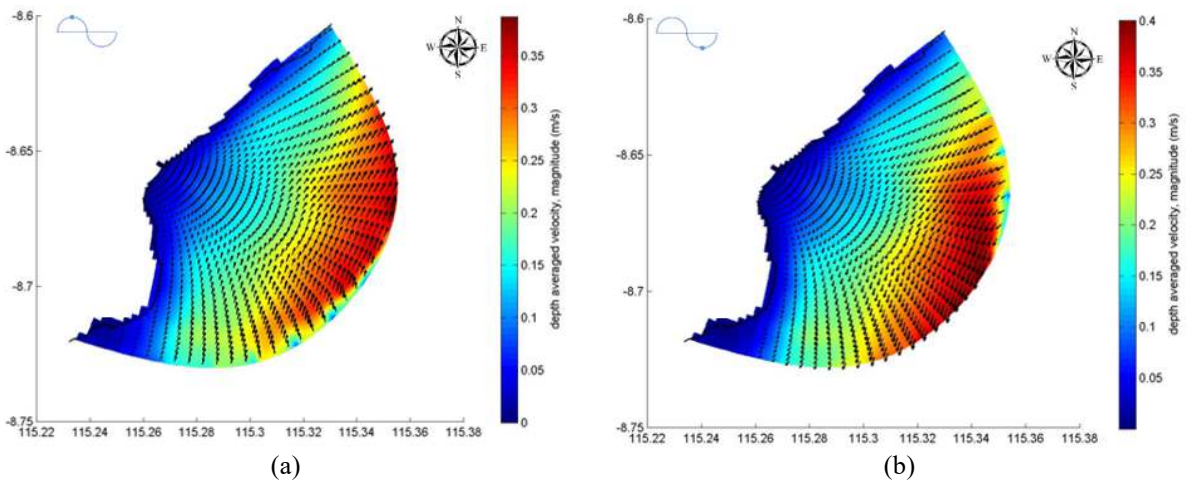
Gambar 6. Kondisi Batas Model Hidrodinamika

Domain model memiliki resolusi grid 50x50 meter di sekitar lokasi kajian (daerah muara sungai) dan 160x160 meter pada kondisi batas laut (*open boundary*). Pemodelan hidrodinamika dilakukan dengan mencari hubungan antara kondisi pasang surut dan arus antara hasil simulasi dan data pengukuran. Simulasi dilakukan selama 31 hari (1-31 Juli

2008) yang disesuaikan dengan ketersediaan data pengukuran. Hasil simulasi berupa elevasi muka air dibandingkan dengan peramalan hasil analisis harmonik data pasang surut Badan Informasi Geospasial (BIG). Hasil simulasi lain yaitu arus dibandingkan dengan data pengukuran lapangan.



Gambar 7. Kondisi Elevasi Muka Air Saat Pasang (a) dan Saat Surut (b)



Gambar 8. Kondisi Arus Saat Pasang (a) dan Saat Surut (b)

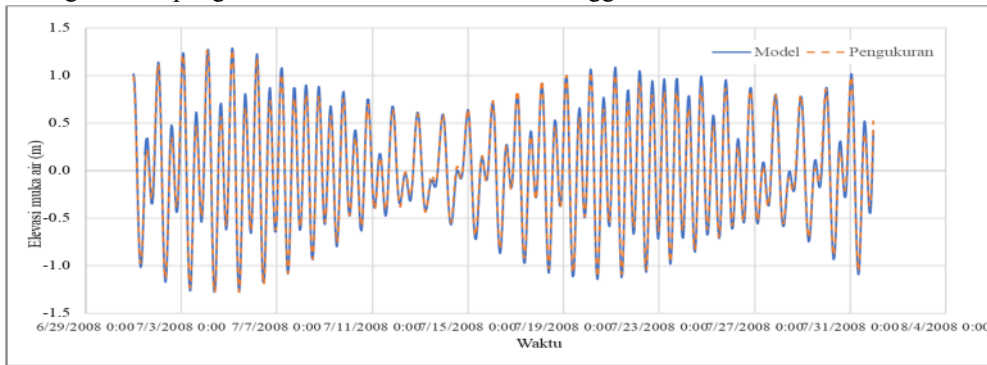
Elevasi muka air hasil simulasi diverifikasi terhadap elevasi muka air pasang surut dari Stasiun Badan Informasi Geospasial (BIG) dilakukan selama sebulan (1-31 Juli 2008). Elevasi muka air hasil simulasi yang ditunjukkan pada **Gambar 7** berkorelasi dengan baik dengan pasang surut Stasiun BIG dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,995, memiliki nilai kesalahan prediksi *Root Mean Square Deviation* (RMSE) yang kecil sebesar 0,062, dan nilai *Nash Sutcliffe Efficiency* (NSE) yang baik sebesar 0,987. Perbandingan muka air hasil model dan pengukuran ditunjukkan pada **Gambar 9**. Berdasarkan hal tersebut,

model dapat digunakan untuk rambatan gelombang dan transpor sedimen.

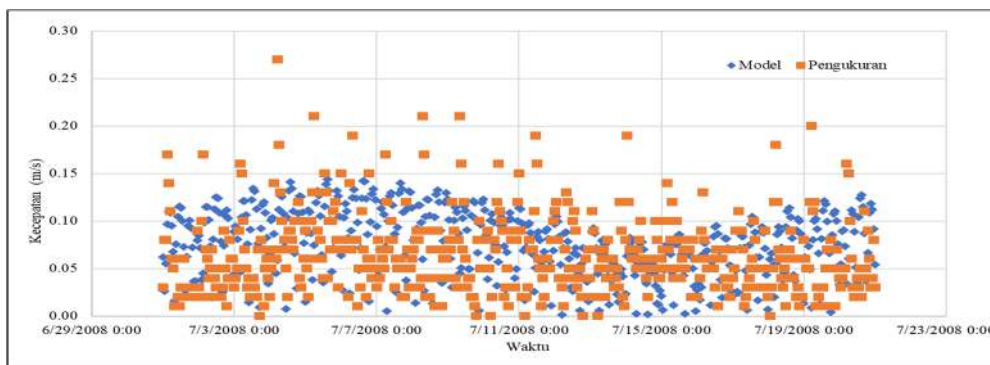
Arus hasil simulasi diverifikasi terhadap arus hasil pengukuran. Komponen arus yang dibandingkan yaitu arah dan kecepatan. Arah arus dominan di titik lokasi kalibrasi pada model bergerak ke arah utara dan pada pengamatan juga bergerak ke arah utara seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 8**. Verifikasi antara hasil model dan pengamatan memiliki perbedaan magnitude kecepatan hasil model lebih besar dibandingkan magnitude kecepatan pengamatan. Perbandingan kecepatan arus hasil model dan pengukuran

ditunjukkan pada **Gambar 10**. Adapun dua kondisi yang ditinjau dalam hubungan atau pengaruh elevasi muka air

pasang surut, kecepatan dan arah arus yaitu kondisi pasang tertinggi dan kondisi surut terendah.



Gambar 9. Perbandingan Muka Air Hasil Model dan Pengukuran



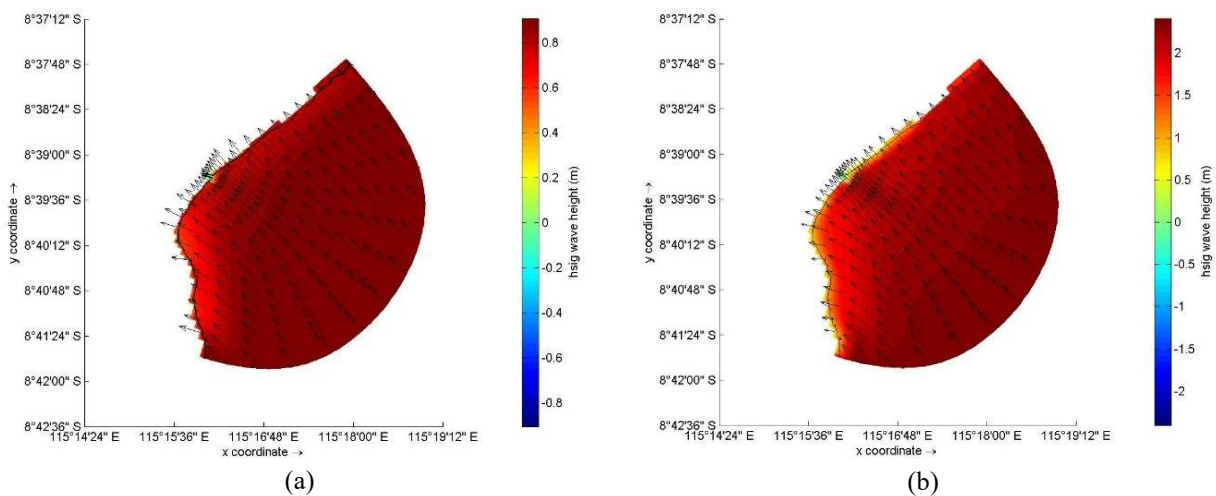
Gambar 10. Perbandingan Kecepatan Arus Hasil Model dan Pengukuran

3.3 Model Gelombang

Model gelombang dijalankan dalam modul Delft-WAVE dan dirunning bersamaan dengan Delft-FLOW untuk memberikan tambahan pengaruh gelombang pada *open boundary*. Model gelombang ditinjau dalam kondisi gelombang dominan yang terjadi selama musim basah dan gelombang dominan yang terjadi selama musim kering. Penentuan musim basah dan musim kering adalah

berdasarkan arah gelombang dominan yang disebabkan oleh pengaruh monsun barat dan monsun timur serta ketersediaan debit andalan sungai.

Tinggi dan periode gelombang merupakan gelombang signifikan yang terjadi di laut dalam, dimana dihasilkan dari analisis hindcasting gelombang. Kondisi gelombang dominan pada musim basah dan musim kering ditunjukkan pada **Gambar 11**.



Gambar 11. Kondisi Gelombang Dominan Musim Basah (a) dan Musim Kering (b)

Untuk kondisi musim basah, hindcasting gelombang menunjukkan gelombang signifikan yang sering terjadi atau dominan berasal dari arah timur dengan tinggi gelombang signifikan 0,97 m dan periode 4,92 detik. Ketinggian gelombang berangsur-angsur mengecil seiring dengan perubahan kedalaman batimetri. Tinggi gelombang yang sampai di wilayah perairan muara Sungai Ayung berkisar 0 – 0,4 m.

Untuk kondisi musim kering, hindcasting gelombang menunjukkan gelombang signifikan yang sering terjadi atau dominan berasal dari arah timur dengan tinggi gelombang signifikan 2,37 m dan periode 7,57 detik. Ketinggian gelombang berangsur-angsur mengecil seiring dengan perubahan kedalaman batimetri. Tinggi gelombang yang sampai di wilayah perairan muara Sungai Ayung berkisar 0,2 – 0,8 m. Gelombang pada kondisi musim kering ini lebih tinggi dibandingkan pada kondisi musim basah.

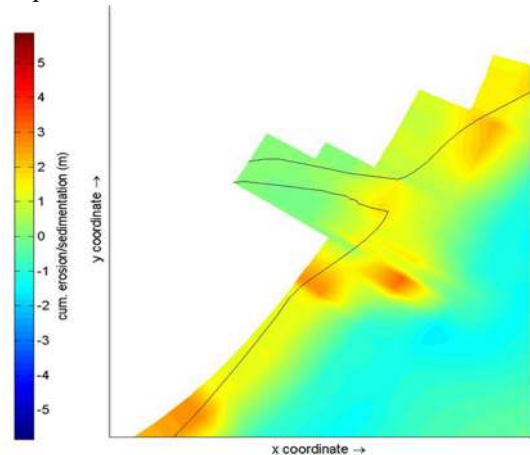
3.4 Model Transpor Sedimen

Pemodelan transpor sedimen dilakukan dalam kondisi musim basah dan musim kering seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 13**. Pada kondisi musim basah, hasil simulasi menunjukkan badan muara sungai mengalami erosi sampai dengan sedalam 2 m, hal tersebut dikarenakan besarnya inflow dari sungai. Tumpukan sedimen terlihat terjadi di laut depan muara mencapai 1,2 m, sebagai akibat dari penumpukan sedimen yang dibawa oleh aliran dari sungai.

Hal tersebut juga disebabkan oleh tinggi gelombang yang datang pada musim basah tidak terlalu tinggi, sehingga arus terbentuk akibat gelombang tidak menyebabkan pergerakan sedimen yang besar ke daerah lainnya. Sedimentasi yang terjadi di sepanjang pantai pada musim basah tidak begitu signifikan namun terjadi pada beberapa ruas pantai yaitu ruas

pantai yang berada di bagian utara dan selatan muara dengan tinggi berkisar 0,3 – 1,5 m yaitu Pantai Ketewel dan Pantai Sanur.

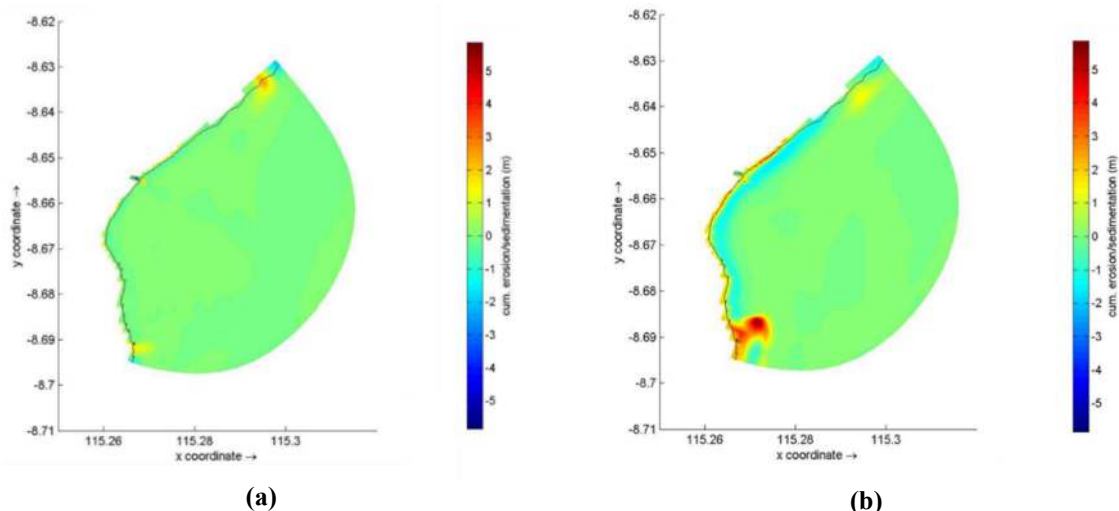
Pada kondisi musim kering, hasil simulasi menunjukkan pada mulut muara sungai terjadi sedimentasi setinggi 1 – 2,2 m seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 12**. Hal tersebut dikarenakan debit sungai yang keluar dari muara cukup kecil, sehingga sedimen tidak terdorong keluar muara sungai dan menumpuk di mulut muara.



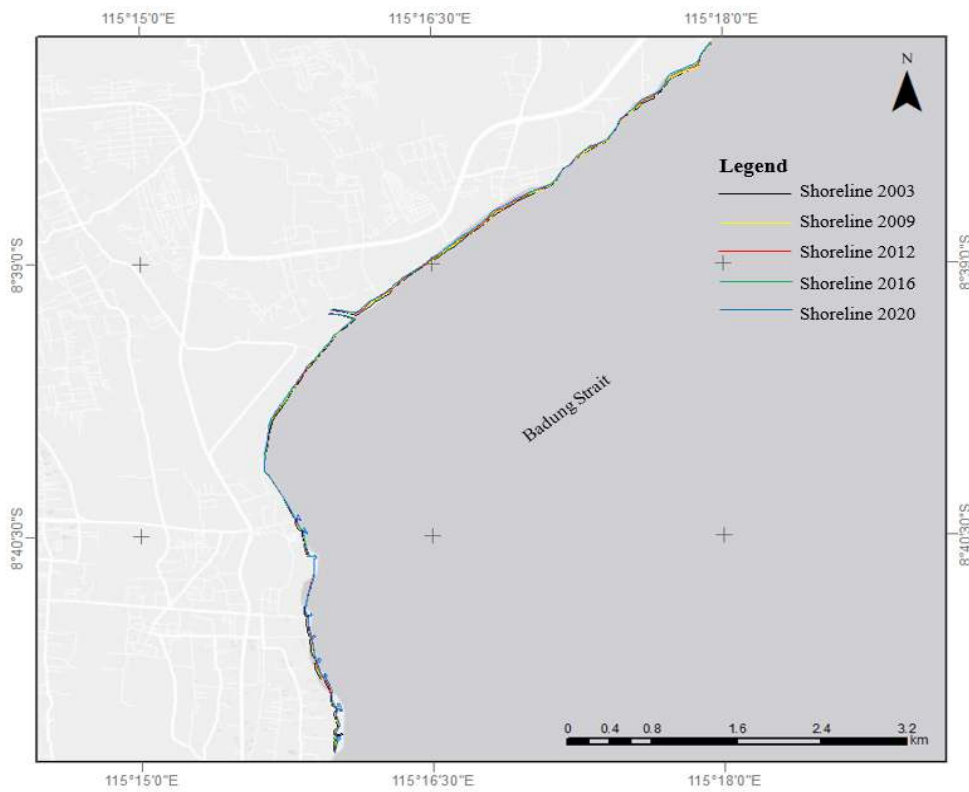
Gambar 12. Penumpukan Sedimen pada Musim Kering

Kondisi sedimentasi pada mulut muara saat musim kering ini dipengaruhi juga oleh arus menyusur pantai yang disebabkan oleh gelombang datang yang tidak tegak lurus pantai dimana pada musim kering gelombang yang terjadi cukup tinggi.

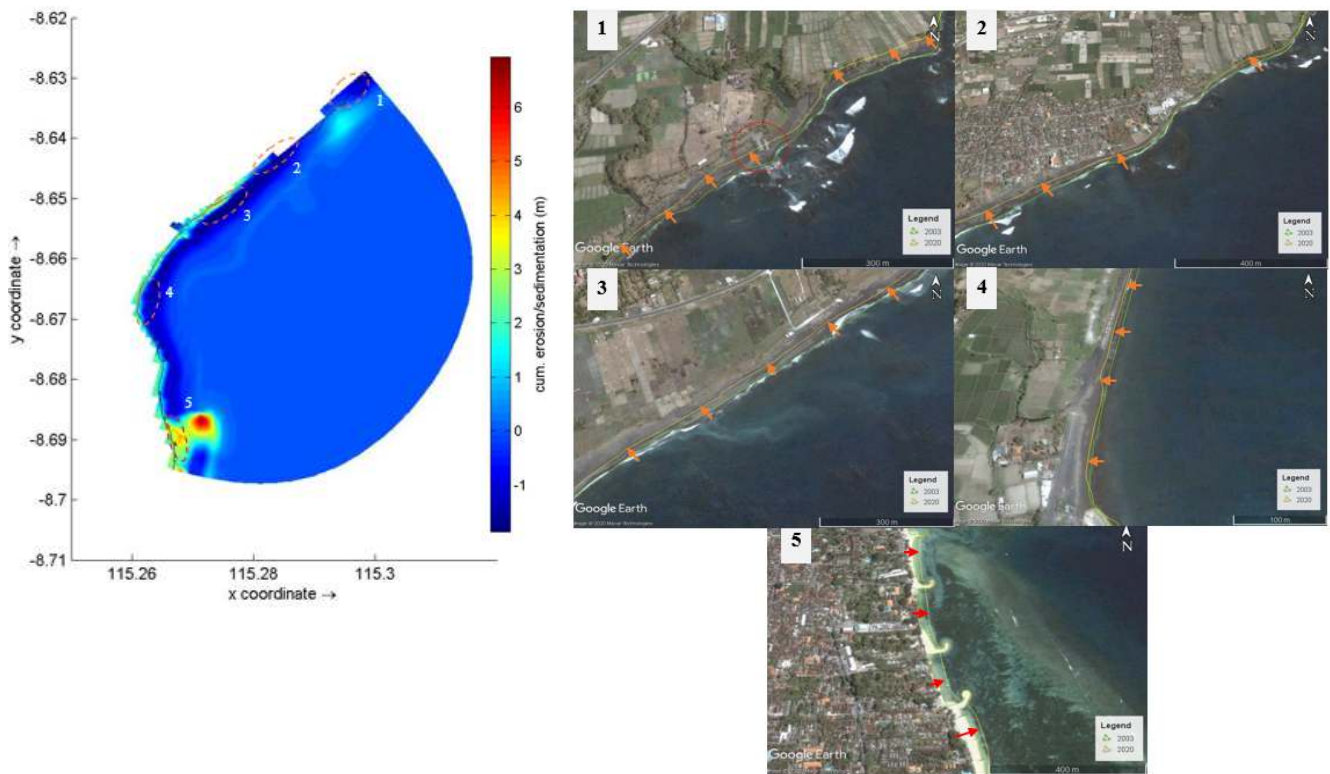
Morfologi muara sungai yang berada pada pertemuan ruas pantai yang berkelok, menyebabkan sedimen yang dibawa oleh arus menyusur pantai terakumulasi pada mulut muara.



Gambar 13. Kondisi Kumulatif Erosi dan Sedimentasi Saat Musim Basah (a) dan Musim Kering (b)



Gambar 14. Perubahan Garis Pantai Perairan Muara Sungai Ayung



(a)

(b)

Gambar 15. Perbandingan Perubahan Garis Pantai Hasil Model (a) dan Citra Satelit (b)

3.5 Verifikasi Model Erosi dan Sedimentasi

Pemetaan perubahan garis pantai di perairan muara Sungai Ayung dilakukan dengan menganalisis citra satelit *google earth* selama 18 tahun. Perubahan garis pantai diperoleh dari hasil digitasi masing-masing citra berdasarkan tahunnya yang dilakukan dengan metode overlay. Berikut ini adalah gambar perubahan garis pantai yang ditunjukkan pada **Gambar 14**.

Ruas pantai yang mengalami erosi meliputi semua ruas pantai yang berada di sebelah utara Muara Sungai Ayung. Sedangkan ruas pantai yang mengalami sedimentasi terjadi di ruas pantai yang berada di sebelah selatan muara. Ruas Pantai Ketewel mengalami erosi yang cukup besar dengan laju perubahan garis pantai 2,40 m per tahun. Ruas pantai yang mengalami erosi yang cukup tinggi yaitu pada ruas Pantai Ketewel. Sejarah terjadinya erosi dimulai sejak awal tahun 2000, dimana kemunduran yang terjadi mencapai ± 100 m yang menyebabkan beberapa rumah dan warung makan milik warga rusak bahkan hilang [30].

Pada beberapa ruas pantai yang mengalami erosi sudah ada yang tertangani dengan dipasangnya revetment seperti pada ruas Pantai Biaung dan Pantai Tangtu. Namun pada ruas Pantai Gunicik dan Pantai Ketewel belum mendapatkan penanganan untuk mengendalikan erosi yang terjadi. Ruas Pantai Sanur mengalami sedimentasi dengan laju penambahan garis pantai 0,89 m per tahun. Ruas Pantai Sanur mengalami sedimentasi atau penambahan sedimen dikarenakan adanya pekerjaan pengisian pasir dan pembangunan groin pada tahun 2005. Saat ini bangunan groin yang dipasang telah mampu menambah garis pantai baru. Berikut adalah perbandingan kondisi erosi dan sedimentasi antara hasil model dengan data citra satelit seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 15**.

Berdasarkan hasil model, daerah yang mengalami erosi meliputi sepanjang pantai di bagian utara muara yaitu sepanjang Pantai Biaung, Pantai Tangtu, Pantai Gunicik dan Pantai Ketewel. Hal tersebut sejalan dengan data citra satelit, dimana erosi yang terjadi cukup parah di sepanjang Pantai Ketewel. Kemunduran garis pantai selama 18 tahun menyebabkan kerusakan dan hilangnya bangunan yang berada di pinggir pantai. Sedangkan daerah yang mengalami sedimentasi atau kemajuan garis pantai pada hasil model yaitu pada ruas Pantai Sanur dan Pantai Sindu.

Pada penelitian selanjutnya diperlukan perhitungan keseimbangan sedimen menyusur pantai untuk dapat digunakan dalam melengkapi pemodelan transpor sedimen pada daerah pantai yang mengalami erosi maupun sedimentasi. Tinjauan net sedimen pantai dapat

mengevaluasi keseimbangan jumlah sedimen yang masuk dan keluar dari pantai yang ditinjau.

4. Simpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa pola arus di perairan muara Sungai Ayung saat pasang bergerak dari selatan (Samudera Hindia) lalu belok ke arah timur laut menuju arah utara (Laut Bali). Pada saat surut arah arus bergerak dari arah utara (Laut Bali) lalu belok ke arah barat daya menuju ke arah selatan (Samudera Hindia). Kecepatan arus di muara sungai dipengaruhi oleh debit sungai dan pasang surut.

Gelombang di perairan muara Sungai Ayung termasuk dalam gelombang yang dibangkitkan oleh angin. Pada musim basah dan musim kering, gelombang dominan berasal dari arah tenggara atau tegak lurus garis pantai. Debit sungai dan konsentrasi sedimen yang keluar dari sungai berpengaruh pada penyebaran sedimen ke laut. Sedimen tersuspensi pada musim basah lebih besar dibandingkan dengan musim kering. Namun, penyebaran sedimen pada musim kering lebih luas dibandingkan dengan musim basah. Hal ini dipengaruhi oleh gelombang pada musim kering yang lebih tinggi.

Dinamika erosi dan sedimentasi juga dipengaruhi oleh arus menyusur pantai. Erosi sepanjang pantai dominan dipengaruhi oleh arus menyusur pantai. Pergerakan arus yang sejajar dengan garis pantai tersebut membawa angkutan sedimen sehingga pantai tidak stabil. Sedimentasi di muara sungai dipengaruhi oleh arus menyusur pantai yang dominan bergerak ke arah barat daya dan gelombang datang yang dominan dari arah tenggara.

Daftar Pustaka

- [1] F. D. Setyani, "Sediment Transport Study in Estuary of Weriar River, Kabupaten Teluk Bintuni, West Papua," *Jurnal Teknologia*, vol. 3, no.1, pp. 62–71, Aug. 2020.
- [2] B. S. Barus, E. N. Ningsih, and Melki, "Perubahan Garis Pantai di Perairan Muara Banyuasin Kaitannya dengan Sedimentasi," *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, vol. 12, no. 1, pp. 107–118, April. 2020.
- [3] G. Azhikodan dan K. Yokoyama, "Erosion and Sedimentation Pattern of Fine Sediments and Its Physical Characteristics in A Macrotidal Estuary," *Science of the Total Environment*, vol. 753, Jan. 2021.
- [4] Z. Xu, J. Ma, H. Wang, Y. Hu, G. Yang and W. Deng, "River Discharge and Saltwater Intrusion Level Study of Yangtze River Estuary, China," *Water (Switzerland)*, vol. 10, no. 6, May 2018.
- [5] J. Deng, Q. Yao, and J. Wu, "Estuarine Morphology and Depositional Processes in Front of Lateral River-

- Dominated Outlets in a Tide-Dominated Estuary: A Case Study of the Lingding Bay, South China Sea,” *J Asian Earth Sci*, vol. 196, Jul. 2020.
- [6] J. Risandi, W. S. Pranowo, A. R. T. D. Kuswardani, S. Husrin, T. Solihuddin, and R. Akhwady, “Wave Driven Setup Across the North Coast Region of West Java,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing Ltd, Dec. 2021.
- [7] W. Lai, J. Pan, and A. T. Devlin, “Impact of Tides and Winds on Estuarine Circulation in The Pearl River Estuary,” *Continental Shelf Research*, vol. 168, pp. 68–82, Sep. 2018.
- [8] R. Kamma, M. S. Pallu, M. A. Thaha, and M. P. Hatta, “Hydrodynamic Condition of Tides and Wave Diffraction in the Estuary of Jeneberang River,” *INTEK: Jurnal Penelitian*, vol. 7, no. 1, pp. 32-38, May 2020.
- [9] A. Mhashhash, B. Bockelmann-Evans, and S. Pan, “Effect of Hydrodynamics Factors on Sediment Flocculation Processes in Estuaries,” *J Soils Sediments*, vol. 18, no. 10, pp. 3094–3103, Oct. 2018.
- [10] V. T. Anh, P. B. Trung, K. A. Nguyen, Y. A. Liou, and M. T. Phan, “Human Impacts on Estuarine Erosion-Deposition in Southern Central Vietnam: Observation and Hydrodynamic Simulation,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 15, Aug. 2021.
- [11] D. Fugate and F. Jose, “Forces in An Estuary Tides, Freshwater, and Friction,” *Oceanography*, vol. 32, no. 1, pp. 231–236, Mar. 2019.
- [12] I. Iglesias, P. Avilez-Valente, A. Bio, and L. Bastos, “Modelling the Main Hydrodynamic Patterns in Shallow Water Estuaries: The Minho Case Study,” *Water (Switzerland)*, vol. 11, no. 5, May 2019.
- [13] I. Kazakis and T. V. Karambas, “Numerical Simulation of Hydrodynamics and Sediment Transport in the Surf and Swash Zone Using OpenFOAM,” *Journal Marine Science Engineering*, vol. 11, no. 2, Feb. 2023.
- [14] I. G. A. P. Eryani, and C. A. Yujana, Pengelolaan dan Pengembangan Sumber Daya Air di Muara Sungai Ayung Provinsi Bali Berbasis Kearifan Lokal,” *Konferensi Nasional Teknik Sipil 12*, Batam 18-19 September 2018.
- [15] I. G. N. P. Dharmayasa, K. Surakit, R. Jindal, and R. Thongdara, “Investigation on Impact of Changes in Land Cover Patterns on Surface Run Off in Ayung Watershed, Bali, Indonesia Using Geographic Information System,” *Environment and Natural Resources Journal*, vol. 20, no. 2, pp. 168-168, Jan. 2022.
- [16] M. S. Sumarniasih, “Relationship of Erosion and Farmer Income in Ayung Watershed, Bali, Indonesia,” *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, vol. 5, no. 24, pp. 46-53, 2015.
- [17] M. Y. M. Ikhsan, N. Anwar, and M. A. Maulana, “Analisis Model Transformasi Hujan-Aliran pada DAS Kali Lamong dengan HEC-HMS,” *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, vol. 19, no. 4, pp. 387-394, Nov. 2021.
- [18] K. W. Widyaningsih, D. Harisuseno, and W. Soetopo, “Perbandingan Metode FJ. Mock dan NRECA untuk Transformasi Hujan Menjadi Debit pada DAS Metro Kabupaten Malang, Jawa Timur,” *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, vol. 1, no. 1, pp. 52-61, 2021.
- [19] A. Wilnaldo, Y. S. Putra, and R. Adriat, “Perbandingan Metode Perhitungan Evapotranspirasi Potensial di Paloh Kabupaten Sambas Kalimantan Barat,” *Prisma Fisika*, vol. 8, no. 3, pp. 165–171, 2020.
- [20] N. A. Bose et al., “Assessing Wind Datasets and Boundary Conditions for Wave Hindcasting in The Southern Brazil Nearshore,” *Comput Geosci*, vol. 159, Feb. 2022.
- [21] H. S. Eum, W. M. Jeong, Y. S. Chang, S. H. Oh, and J. J. Park, “Wave Energy in Korean Seas From 12-year Wave Hindcasting,” *Journal Marine Science Engineering*, vol. 8, no. 3, Mar. 2020.
- [22] E. Nugraha, I. Sudarsono, and F. Mulyawati, “Penanganan Perubahan Garis Pantai Pada Pantai Indramayu (Ruas: Muara Kali Eretan-Muara Sumber Mas),” *Jurnal Rekayasa Infrastruktur*, vol. 8, no. 2, pp. 8-18, Nov. 2022.
- [23] S. Handayani, M. I. Jumarang, and Apriansyah, “Identifikasi Jenis Material Sedimen Dasar Kelokan Sungai di Desa Sungai Duri Kecamatan Bengkayang Kabupaten Bengkayang,” *Prisma Fisika*, vol. 5, no. 3, pp. 145-150, 2017.
- [24] A. M. Randa, E. A. Patandianan, and I. Marisan, “Sebaran Sedimen Berdasarkan Analisis Ukuran Butir di Sepanjang Sungai Nuni Kabupaten Manokwari Provinsi Papua Barat,” *Jurnal Maritim*, vol. 3, no. 1, pp. 8-17, Aug. 2021.
- [25] M. G. I. Mardika, and M. I. Pratama, “Analisis Pasang Surut Menggunakan Metode Least Square di Wilayah Perairan Muara Sungai Poso,” *Journal of Infrastructure, Planning, and Design*, vol. 1, no. 2, pp. 1-8, 2021.
- [26] A. L. Rakhmawati, “Sedimentation and Longshore Current Simulation with Delft3D Software in Rejoso Shoreline,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing Ltd, Mar. 2021.
- [27] W. L. Nugraha, M. A. Maulana, W. Wardoyo, and S. D. Negara, “Analisis Sensitivitas Kecepatan Rata-rata Kedalaman dan Tinggi Muka Air terhadap Parameter Masukan Setting Model pada Saluran Berbelok 180° dengan Menggunakan Program Bantu Delft3D,” *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, vol. 19, no. 1, pp. 73-80, Feb. 2021.
- [28] A. H. Fattah, Suntoyo, H. A. Damerianne, and Wahyudi, “Hydrodynamic and Sediment Transport Modelling of Suralaya Coastal Area, Cilegon,

- Indonesia,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing, Mar. 2018.
- [29] S. Rahman and T. Pairunan, “Wave Analysis of Breakwater Building Structure in North Kalimantan,” *Journal of Maritime Technology and Society*, vol. 1, no. 1, pp. 35–42, Feb. 2022.
- [30] P. Aryastana, I. M. Ardantha, and N. K. A. Agustini, “Analisis Perubahan Garis Pantai dan Laju Erosi di Kota Denpasar dan Kabupaten Badung dengan Citra Satelit Spot,” *Jurnal Fondasi*, vol. 6, no. 2, pp. 100-111, 2017.

Halaman ini sengaja dikosongkan