

Pemodelan Sebaran Konsentrasi Nitrat di Kawasan Pelabuhan Perikanan Nusantara Jembrana, Bali

Pilipus Hulu^{a*}, I Dewa Nyoman Nurweda Putra^a, I Putu Yogi Darmendra^a, I Putu Ranu Fajar Maharta^a

^aProgram Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana, Bali, Indonesia

*Corresponding author, email: nurweda14@unud.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 27 Juni 2024

Received in revised form: 9 September 2024

Accepted: 9 Februari 2025

Available online: 28 Februari 2025

Keywords:

Modeling;

Nitrate;

Port;

FVCOM;

ERSEM

Kata Kunci:

Pemodelan;

Nitrat;

Pelabuhan;

FVCOM;

ERSEM

ABSTRACT

The water area of the Perikanan Nusantara Port (PPN) Jembrana, Bali, is an area affected by environmental conditions, including nitrate concentrations. Previous studies have shown that nitrate concentrations in these waters have exceeded the quality standard set in Bali Governor Regulation No. 16 of 2016 by 0.008 mg/l. However, the study only discussed nitrate concentrations in two conditions, namely during high tide and low tide. Therefore, further research is needed to analyze nitrate concentrations in four tidal conditions, namely high tide, tide to low tide, low tide, and low tide to high tide. This study used numerical modeling method with Finite Volume Coastal Ocean Model (FVCOM) approach in 2-D scale. The modeling was conducted in two stages: first, running the hydrodynamics numerical modeling, and second, running the European Regional Seas Ecosystem Model (ERSEM) numerical modeling. The modeling results show that the movement pattern of ocean currents in port waters is dominated by the influence of tides and port bathymetry. The current velocity of each condition has minimum, maximum and average values of 0.001 m/s, 0.555 m/s, and 0.131 m/s, respectively. The nitrate distribution pattern shows concentrations that tend to be high in the harbor pond area, with a minimum concentration of 0.112 mg/l and a maximum of 0.570 mg/l. The distribution of nitrate concentration is thought to be influenced by biological processes in the water, such as decomposition and the presence of phytoplankton, as well as by ocean currents and other physico-chemical parameters, such as temperature, salinity, dissolved oxygen (DO), pH, and depth. Compared to previous studies, the nitrate concentration found in this study was lower, but still exceeded the threshold set by the government.

ABSTRAK

Kawasan perairan Pelabuhan Perikanan Nusantara (PPN) Jembrana, Bali, merupakan wilayah yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, termasuk konsentrasi nitrat. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa konsentrasi nitrat di perairan ini telah melebihi standar kualitas yang ditetapkan dalam Peraturan Gubernur Bali No. 16 Tahun 2016 sebesar 0,008 mg/l. Namun, penelitian tersebut hanya membahas konsentrasi nitrat pada dua kondisi, yaitu saat pasang dan surut. Oleh karena itu, penelitian lanjutan diperlukan untuk menganalisis konsentrasi nitrat pada empat kondisi pasang surut, yaitu pasang, pasang menuju surut, surut, dan surut menuju pasang. Penelitian ini menggunakan metode pemodelan numerik dengan pendekatan *Finite Volume Coastal Ocean Model* (FVCOM) dalam skala 2-D. Pemodelan dilakukan dalam dua tahap; pertama, menjalankan pemodelan numerik hidrodinamika, dan kedua, menjalankan pemodelan numerik *European Regional Seas Ecosystem Model* (ERSEM). Hasil pemodelan menunjukkan bahwa pola pergerakan arus laut di perairan pelabuhan didominasi oleh pengaruh pasang surut serta batimetri pelabuhan. Kecepatan arus setiap kondisi memiliki nilai minimum, maksimum dan rata-rata masing-masing sebesar 0,001 m/s, 0,555 m/s, dan 0,131 m/s. Pola sebaran nitrat menunjukkan konsentrasi yang cenderung tinggi di area kolam pelabuhan, dengan konsentrasi minimum sebesar 0,112 mg/l dan maksimum mencapai 0,570 mg/l. Sebaran konsentrasi nitrat ini diduga dipengaruhi oleh proses biologis di perairan, seperti dekomposisi dan kehadiran fitoplankton, serta oleh arus laut dan parameter fisika-kimia lainnya, seperti suhu, salinitas, oksigen terlarut (DO), pH, dan kedalaman. Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, konsentrasi nitrat yang ditemukan pada penelitian ini lebih rendah, namun tetap melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh pemerintah.

1. Pendahuluan

Kualitas perairan merupakan salah satu indikator penting untuk menentukan kesehatan lingkungan ekosistem pesisir, salah satu indikator untuk menentukan kesehatan lingkungan adalah nitrat. Nitrat adalah salah satu nutrisi yang dominan di perairan (Simanjuntak, 2012; Hendrawan *et al.*, 2016). Pengkayaan nitrat di lingkungan yang bersumber dari berbagai macam di dalam perairan dapat meningkatkan produksi fitoplankton, namun jika berlebihan, dapat menyebabkan dampak negatif seperti *Harmful Algal Blooms* (HABs) (Risamasu and Prayitno, 2012).

Pada umumnya sumber utama nitrat berasal dari kegiatan industri (industri pengolahan ikan dan pembuatan kapal), aktivitas nelayan (pelelangan ikan), aktivitas pelabuhan (bongkar muatan kapal) yang ada di sekitar pelabuhan (Juliasih *et al* 2017). Selain itu, nitrat juga dapat berasal dari perairan itu sendiri, yaitu melalui proses pembusukan, pelapukan atau penguraian sisa-sisa tumbuhan dan organisme mati (Patty *et al.*, 2015). Aktivitas tersebut secara tidak langsung dapat mempengaruhi kualitas lingkungan perairan di sekitar pelabuhan, yang nantinya akan berdampak pada kesehatan dan kualitas hidup masyarakat di sekitarnya dan juga mempengaruhi kesehatan ekosistem laut yang ada di dasar laut.

Ada beberapa daerah di Indonesia yang terkena dampak konsentrasi nitrat berlebihan, pertama Kepulauan Karimunjawa berada di Kabupaten Jepara-Jawa Tengah, dimana pada daerah tersebut memiliki konsentrasi nitrat yang cukup tinggi yaitu berkisar antara 0,054-1,595 mg/l. Konsentrasi nitrat tersebut telah melebihi baku mutu bagi kehidupan biota *aquatik* yaitu 0,008 mg/L (Handoko *et al*, 2013). Kedua perairan Pantai Ancol, Jakarta dimana pada daerah tersebut mengalami eutrofikasi pada daerah tersebut memiliki kandungan oksigen terlarut yang rendah serta banyak terdapat ikan yang mati (LIPI, 2015). Bali sendiri daerah yang mengalami kelebihan nitrat yaitu daerah Tanjung Benoa dan PPN Pengambangan. Penelitian Raharja (2018) menyatakan bahwa daerah Tanjung Benoa konsentrasi nitratnya sangat tinggi yaitu berkisar antara 0.2-1.0 mg/l, sedangkan di Pelabuhan Perikanan Nusantara yang berada di Jembrana sendiri telah mengalami konsentrasi nitrat yang tinggi yaitu berkisar 0,682 - 1,776 mg/l (Mustiawan., 2014) sehingga menjadikan hal tersebut menjadi sebuah masalah yang dapat mengganggu keadaan ekosistem, kehidupan biota dan aktivitas antropogenik di dalam perairan dan menyebabkan kualitas perairan akan menurun, dengan permasalahan yang ada di perairan Pelabuhan Perikanan Nusantara Jembrana perlu dikaji lebih lanjut dengan menggunakan metode numerik.

Ada banyak metode yang dapat digunakan dalam menilai kualitas perairan, termasuk pemodelan numerik. Pemodelan numerik adalah analisis limbah atau puing-puing, partikel, dan lain-lain. Pemodelan numerik merupakan metode yang mampu memodelkan suatu keadaan dari keadaan sebelumnya maupun dimasa datang misalnya seperti pergerakan limbah atau polutan, sedimen, partikel dan lainnya (Chen *et al.*, 2006; Maharta *et al.*, 2018). Penelitian dengan menggunakan pemodelan numerik sebelumnya telah dilakukan di suatu wilayah di Bali yaitu wilayah Tanjung Benoa dalam penelitian Hendrawan and Asai (2014) yang dimana menggunakan *Finite Volume Coastal Ocean Model* (FVCOM) untuk mengkaji pola arus pasang surut dan pertukaran massa air di Teluk

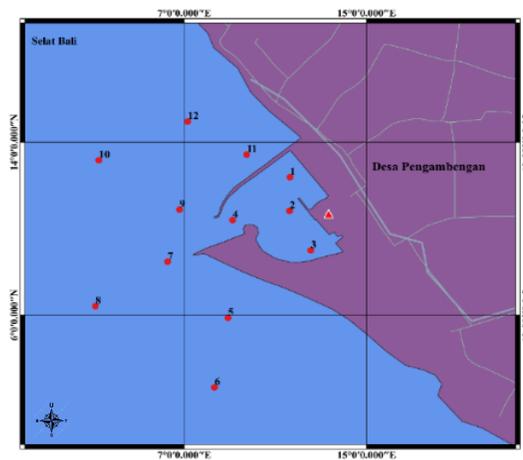
Benoa. Daerah PPN sendiri belum pernah dilakukan pemodelan numerik, namun ada beberapa penelitian yang mengkaji tentang kandungan nitrat di pelabuhan yang dimana pada kondisi pasang kandungan nitrat dominan besar di bagian pelabuhan dan pada saat kondisi surut kandungan nitrat dominan kebawah kearah sungai perancak Mustiawan (2014).

Dengan adanya studi permasalahan nitrat yang tinggi di Pelabuhan Perikanan Nusantara pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mustiawan (2014); Sujana (2020), penting halnya melakukan penelitian lebih lanjut di pelabuhan Perikanan Nusantara menggunakan FVCOM 2-D yang dimodelkan secara spasial pada bagian permukaan. Penelitian sebelumnya terkait beban pencemaran yang dilakukan hanya terbatas pada besar kandungan nitratnya saja namun tidak melihat pola sebaran nitrat yang terjadi di pelabuhan. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk melihat pola sebaran arus yang diduga sebagai indikator pola sebaran nutrisi di perairan dan pola sebaran nitrat di Pelabuhan Perikanan Nusantara Jembrana, Bali.

2. Metode Penelitian

2.1 Lokasi Penelitian

Pengambilan data primer di Kawasan Pelabuhan Perikanan Nusantara dilaksanakan pada tanggal 16 Februari – 08 Maret 2024. Pertama pada tanggal 16 Februari 2024 dilakukan pengambilan data *input* model. Kedua pada 08 Maret 2024 dilakukan pengambilan data untuk validasi model nitrat. Data input yang diambil di lapangan meliputi sampel nitrat, suhu, salinitas, dan kecepatan arus, sedangkan untuk validasi model data yang diambil adalah sampel nitrat. Lokasi pengambilan data input dan validasi model dapat dilihat pada gambar 1.

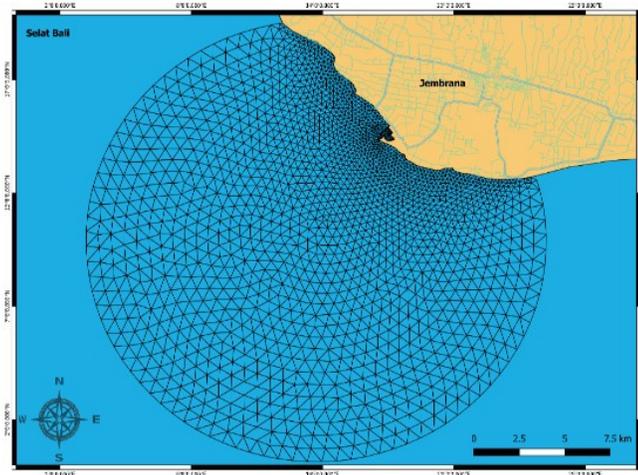


Gambar 1 Peta Lokasi *Input* Data Model

2.2 Desain Model

Model dijalankan selama 30 hari, dari tanggal 01-30 Maret 2024 dengan layer dalam model berjumlah 10 layer. Komponen elevasi pasang surut yang digunakan untuk model berjumlah 4 komponen yaitu S2, M2, K1, dan O1 yang bersumber dari *Tide Model Driver* (TMD). Data batimetri bersumber dari Batimetri Nasional (BATNAS). Data elevasi pasang surut kedua bersumber dari Sistem Referensi Geospasial Indonesia (SRGI) <https://srgi.big.go.id/tides>, yang digunakan untuk memvalidasi

elevasi pasang surut, pada model *grid* yang digunakan dalam model secara horizontal adalah *unstructural triangular grid* dengan resolusi 200 meter untuk bagian dermaga pelabuhan, 800 meter untuk daerah *open boundary* (batas terbuka). Domain model lebih jelasnya dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Domain Model

2.2.1 Model Hidrodinamika

Persamaan hidrostatis tiga dimensi (3D) yang terdapat dalam FVCOM terdiri dari persamaan kontinuitas dan momentum (1-3), suhu (4), salinitas (5), densitas (6), dan elevasi pasang surut (7) (Chen et al., 2006):

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - f v = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_m \frac{\partial u}{\partial z} \right) + F_x \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - f v = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_m \frac{\partial u}{\partial z} \right) + F_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\rho g \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_h \frac{\partial T}{\partial z} \right) + F_T \quad (5)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} + w \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_h \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_S \quad (6)$$

$$\rho = \rho(T, S) \quad (7)$$

Dimana x , y , dan z adalah arah untuk timur dan barat, utara dan selatan, dan juga vertikal dalam sistem koordinat kartesian; u , v , dan w adalah komponen kecepatan arus untuk arah x, y, z ; T adalah suhu ($^{\circ}\text{C}$); S adalah salinitas (ppt); ρ adalah densitas akhir (Pa) sedangkan ρ_0 adalah densitas awal (Pa); f adalah gaya Coriolis ($^{\circ}$); g adalah gravitasi (m/s); K_m adalah *vertical eddy viscosity* (m^2/s); dan K_h adalah *thermal vertical eddy diffusion coefficient* (m^2/s). F_x , F_y , F_T , dan F_S merepresentasikan dari *friction* arah x dan y , *thermal*, dan difusi salinitas (N); D adalah total kedalaman kolom perairan (m); H adalah penyerapan radiasi ke kolom perairan; ζ adalah tinggi elevasi permukaan perairan (m).

$$\bar{\zeta}_0 = \bar{\zeta}_0 + \sum_{i=1}^{N_0} \zeta_i \cos(\omega_i t - \theta_i) \quad (7)$$

$\bar{\zeta}_0$ adalah rata-rata elevasi relatif untuk ketinggian air; ζ_i , ω_i , dan θ_i mempresentasikan amplitude (m), frekuensi (s), phase dari pasang surut terbentuk ($^{\circ}$); t adalah waktu (s)

2.2.2 European Regional Seas Ecosystem Model (ERSEM)

ERSEM adalah model ekosistem biogeokimia laut, plankton pelagis dan organisme benthik. Tipe fungsional didasarkan pada peran makroskopisnya dalam ekosistem, bukan spesies atau taksa, dan variabel spasial adalah komponen kimia terpenting dari setiap tipe (karbon, klorofil a, nitrogen, fosfat, silikat, dan besi) (Baretta et al., 1995; Vichi et al., 2007).

$$\frac{\partial c_p}{\partial t} + u \frac{\partial c_p}{\partial x} + c_p w_{sed} \frac{\partial c_p}{\partial z} = v \frac{\partial^2 c_p}{\partial x^2} + \frac{\partial c_p}{\partial t} |bgc' \quad (8)$$

$$\frac{\partial c_b}{\partial t} = \frac{\partial c_b}{\partial t} |bgc' \quad (9)$$

dimana c_p adalah konsentrasi pelagis (per volume) dan c_b kandungan benthik (per luas permukaan sedimen) dari setiap komponen kimia dari jenis model organik atau komponen model anorganik. $c_p w_{sed}$ adalah kecepatan tenggelamnya partikel dalam kolom air, x mewakili vektor koordinat spasial di mana z adalah koordinat vertikal, menjadi nol di permukaan laut dan meningkat ke bawah.

Himpunan persamaan ditutup oleh kondisi batas horizontal sistem yang umumnya diberikan oleh fluks udara-laut $F|air\ sea$ dan fluks di dasar laut $F|pel\ ben$ dan kondisi batas lateral jika ada dalam konfigurasi yang diberikan.

ERSEM menghitung laju biogeokimia perubahan pelagis ($\frac{\partial c_p}{\partial t} |bgc'$) dan benthik ($\frac{\partial c_b}{\partial t} |bgc'$) sistem, transfer gas melintasi permukaan laut ($F|air\ sea$ untuk oksigen dan karbon), dan fluks di dasar laut ($F|pel\ ben$). Integrasi numerik aktual dari tingkat ini bersama dengan proses adveksi-difusi yang memecahkan Persamaan (1) dan (2) perlu ditangani dengan tepat melalui penggerak eksternal (Butenschön et al., 2012).

(6) Model yang digunakan pada penelitian ini didasarkan pada konsep Generic Type Model yang berarti tidak ada definisi tambahan dari produser. Hal ini memungkinkan untuk memodelkan setiap jenis produser dengan kode dasar yang sama dan koefisien yang berbeda seperti ketergantungan nutrisi, hubungan trofik, Adapun parameter yang digunakan pada model ini sebagai berikut:

Tabel 1 Parameter yang digunakan pada ESREM

Simbol	Defenisi	Unit
N1p	Konsentrasi Inisial Fosfor Fosfat	Mg/l
N3n	Konsentrasi Inisial Nitrogen Nitrat	Mg/l
N4n	Konsentrasi Inisial Nitrogen Amonium	Mg/l
N5s	Konsentrasi Inisial Silikat	Mg/l
O2o	Konsentrasi Inisial Oksigen	Mg/l
O3c	Total Karbon anorganik Terlarut	Mg/l

Sumber (Ge et al., 2020)

2.2.3 Pengumpulan Data

1. Data Primer

Tabel 2 Data Primer

Data	Keterangan
Nitrat	12 titik yang telah di tentukan dan di analisis konsentrasinya di UPTD. Balai Laboratorium Kesehatan Dinas Kesehatan Provinsi Bali
Suhu dan Salinitas	12 titik yang telah di tentukan dengan menggunakan <i>Digital Water tester</i>
Kecepatan arus	Dihitung menggunakan <i>Drifting Buoys</i>

2. Data Sekunder

Tabel 3 Data Sekunder

Data	Keterangan
Kedalaman	Bersumber dari <i>Batimetri Nasional (BATNAS)</i>
Elevasi Pasang Surut (30 Hari)	Bersumber dari <i>Tide Model Driver (TMD)</i>
Elevasi Pasang Surut	Bersumber dari Sistem Referensi Geospasial Indonesia (SRGI) https://srgi.big.go.id/tides (selama 1 Minggu)

2.3 Analisis Data

2.3.1 Analisis Spasial

Pada analisis data secara spasial akan di analisis di bagian permukaan. Analisis dibagian permukaan ini akan dispasialkan untuk mengetahui bagaimana konsentrasi Nitrat di Perairan Pelabuhan Perikanan Nusantara Jembrana, Bali dan bagaimana pola

2.3.2 Konsentrasi Nitrat

Analisis konsentrasi Nitrat dilakukan di UPTD. Balai Laboratorium Kesehatan Dinas Kesehatan Provinsi Bali. Analisis konsentrasi nitrat dilakukan menggunakan metode SNI 06-6989.9-2004/Spectrophotometer UV-Vis

2.3.3 Validasi Data

Data model yang divalidasi adalah konsentrasi nitrat, arus, dan elevasi pasang surut. Waktu simulasi model yang digunakan untuk validasi data disesuaikan dengan waktu data validasi. Data konsentrasi nitrat dari hasil model divalidasi dengan data pengukuran yang diambil di lapangan. Data konsentrasi nitrat dari hasil model divalidasi dengan data pengukuran in situ yang diambil pada tanggal 08 Maret 2024. Validasi arus digunakan hasil validasi yang telah dilakukan sebelumnya oleh Bagaskara (2020) di sela Bali, sementara data elevasi pasang surut divalidasi menggunakan data yang diambil dari *Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS)*. Analisis perhitungan dalam melakukan validasi menggunakan analisis korelasi dan RSME dalam perhitungan menggunakan bahasa pemrograman komputer FORTRAN.

Dalam memvalidasi data antara hasil model dan data validasi dilakukan dengan menghitung korelasi (r) untuk mengetahui hubungan antara data hasil model dan data validasi. Formula untuk persamaan korelasi adalah sebagai berikut yang ditulis pada persamaan (11) (Sugiono, 2012):

$$r = \frac{\sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n}}{\sqrt{(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n})(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n})}}$$

(10)

Keterangan:

r = Koefisien Korelasi

n = Banyaknya Sampel

$\sum x$ = Jumlah skor keseluruhan untuk item pertanyaan variabel x

$\sum y$ = Jumlah skor keseluruhan untuk item pertanyaan variabel y

Sementara perhitungan analisis menggunakan (*Root Mean Square Error*) RMSE dilakukan untuk dapat mengetahui nilai *error* dari hasil model dengan data validasi. Formula untuk persamaan RMSE adalah sebagai berikut yang ditulis pada persamaan (11) (Soliwoda, 2014):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{insitu,i} - X_{model,i})^2}{n}}$$

(11)

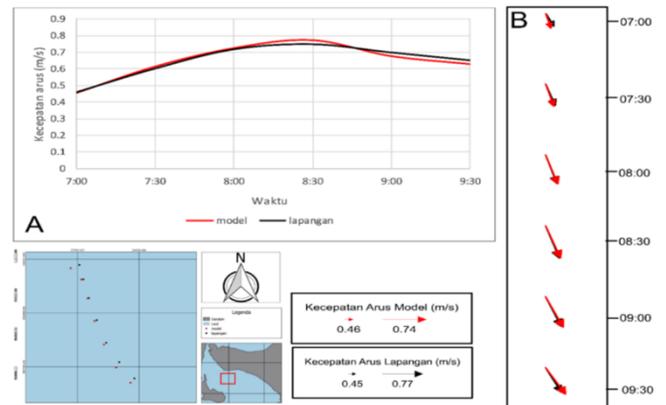
Dimana *X insitu* adalah nilai hasil pengamatan diobservasi dan *X model* adalah nilai yang didapatkan dari hasil model, dan n adalah jumlah data

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Validasi Data

a. Validasi Arus

Pada validasi arus dilakukan pengambilan data selama 2 jam menggunakan metode langrang, setelah itu dilakukan perhitungan RMSE dan Korelasi antara data lapangan dengan data model menghasilkan nilai RMSE sebesar 0.017 m/s dengan korelasi 0.857 (Bagaskara, 2020)



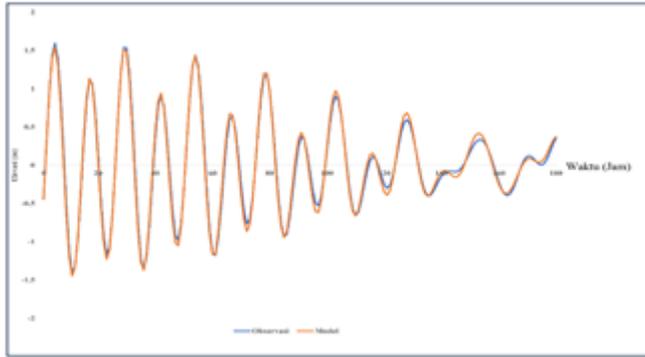
Gambar 3 (A) Grafik hasil model dengan data lapangan. (B) Pergerakan Arus model dengan lapangan

b. Validasi Pasang Surut

Saat validasi ketinggian pasang surut, validasi dilakukan antara data model dengan data observasi dari data BIG selama satu minggu. Validasi ketinggian pasang surut ditunjukkan pada Gambar 4, dari hasil perhitungan korelasi antara data model dan data observasi diperoleh nilai sebesar 0,898 yang menunjukkan adanya pola berbanding lurus antara data model dan data. Perhitungan RMSE saat ini menghasilkan 0,002 m. Secara umum model pasang surut dapat mewakili tinggi pasang surut di Pelabuhan Perikanan Nusantara Jembrana, Bali

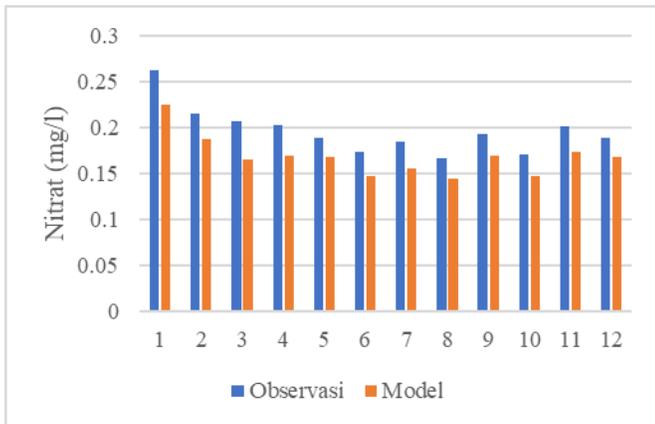
c. Validasi Nitrat

Validasi nitrat antara data model dan data observasi ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil perhitungan korelasi antara data model dan data observasi memberikan hasil sebesar 0,972 yang menunjukkan pola berbanding lurus antara data model dan data lapangan. Jika dihitung nilai RMSE nilainya adalah 0,03 mg/l. Secara umum data model dan data observasi memiliki pola yang relatif sama, dan data model dapat mewakili keadaan nitrat di perairan Pelabuhan Perikanan Nusantara.



Gambar 4 Grafik Validasi Pasangsurut

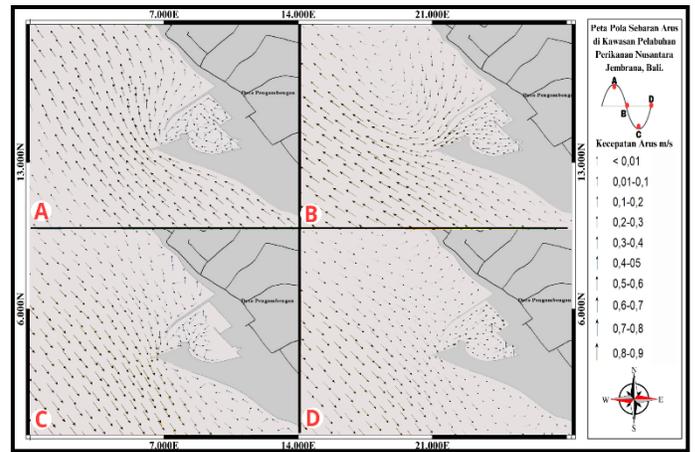
Selain itu, korelasi yang tinggi ini menunjukkan bahwa model tersebut memiliki kemampuan yang baik dalam memprediksi konsentrasi nitrat, meskipun beberapa perbedaan mungkin disebabkan oleh faktor lingkungan perairan yang dinamis dan kompleks. Nilai RMSE yang diperoleh juga menunjukkan bahwa prediksi model cukup akurat dan dapat diandalkan untuk analisis dan pengelolaan kualitas air pada Pelabuhan Perikanan Nusantara lebih lanjut. Dengan demikian, penggunaan data model ini dapat membantu menginformasikan pengambilan keputusan mengenai pengelolaan Pelabuhan lebih lanjut.



Gambar 5 Grafik Validasi Nitrat

3.2 Pola Arus Pelabuhan Perikanan Nusantara Jembrana, Bali

Analisis pola arus di perairan Pelabuhan Perikanan Jembrana dianalisis pada setiap kondisi pasang tertinggi, pasang menuju surut, surut terendah, dan surut menuju pasang di bagian permukaan pelabuhan.



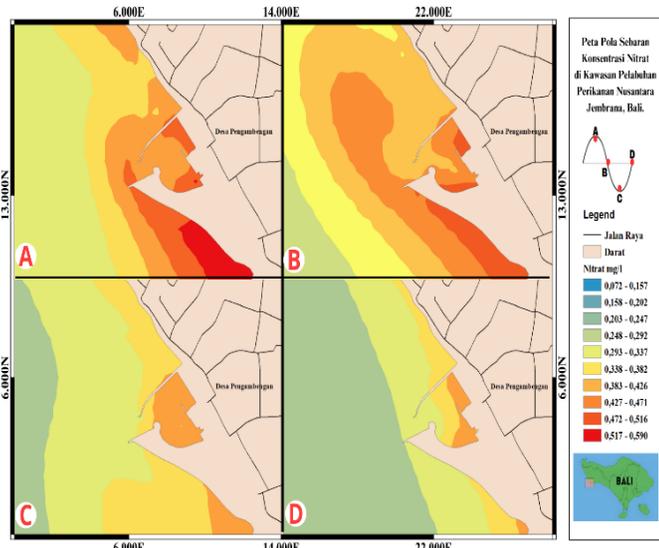
Gambar 6. Pola dan Arah Arus Pada Setiap Kondisi Elevasi Pasang Surut (A; Pasang, B; Pasang Menuju Surut, C; Surut, D; surut menuju pasang)

Pola arus pada Gambar 6. menunjukkan peta pola pergerakan arus laut di Pelabuhan Perikanan Nusantara Pengambangan, yang dimana pola dan arah arus pada saat pasang serta pasang menuju surut pola pergerakan dominan bergerak ke arah barat laut sedangkan kondisi surut serta surut menuju pasang, pola arus dominan ke arah tenggara, dengan kecepatan minimum 0,002 m/s, maksimum 0,495 m/s, sedangkan kecepatan rata-ratanya mencapai 0,162 m/s.

Secara umum pola pergerakan arus di permukaan perairan Pelabuhan Perikanan Nusantara ini memiliki kecepatan yang tinggi di daerah mulut kolam Pelabuhan (gambar 6). Hal ini terjadi karena di bagian mulut kolam Pelabuhan terjadi penyempitan, sesuai dengan pernyataan Raharja (2018) menyatakan bahwa daerah yang sempit dilalui arus akan mengalami kecepatan arus yang besar. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kecepatan arus di Pelabuhan Perikanan Nusantara, yaitu faktor pertama dipengaruhi oleh pasang surut yang dimana berkaitan dengan gravitasi bulan dan matahari yang menyebabkan naik turun permukaan laut, yang dikenal sebagai pasang surut, sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Mustiawan (2014) dan Raharja (2018), yang dimana mereka menyatakan bahwa pola dan pergerakan arus laut dipengaruhi sebagian besar oleh pola pasang surut. Faktor kedua adalah topografi dasar laut atau kondisi batimetri, hal ini didukung oleh penelitian sebelumnya oleh Fahmi *et al* (2014) yang menyatakan bahwa kedalaman laut juga sangat mempengaruhi pola arus laut yang dimana pola arus akan mengikuti kontur kedalaman, serta bangunan di pelabuhan, Permadi (2015) menyatakan bahwa arus laut terjadi pembelokkan saat pergerakan arus laut mengenai suatu bangunan.

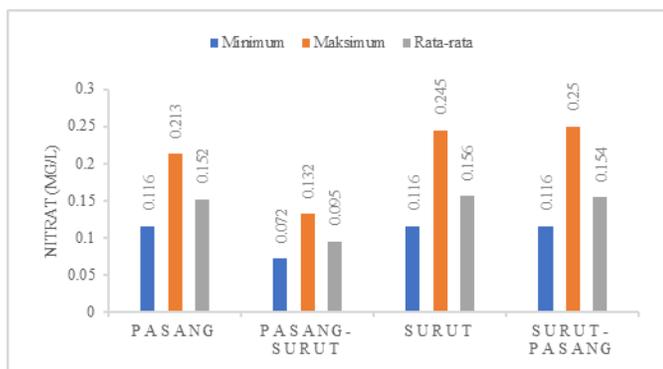
3.4 Pola Distribusi Nitrat di Perairan Pelabuhan Perikanan Nusantara

Hasil model menunjukkan konsentrasi nitrat di Perairan Pelabuhan Perikanan Nusantara cenderung fluktuatif karena adanya proses adveksi yang disebabkan oleh pergerakan arus pasang surut dan adanya proses difusi. Pola nitrat secara spasial dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Pola Distribusi Nitrat Pada Setiap Kondisi Elevasi Pasang Surut (A; Pasang, B; Pasang Menuju Surut, C; Surut, D; Surut Menuju Pasang)

Gambar 7, menunjukkan pola sebaran nitrat di pelabuhan pada kondisi bulan purnama, yang dimana konsentrasi nitrat terbesar terdapat pada titik 1,2 dan 3 (Gambar 1). Pada titik satu konsentrasi nitrat mencapai 0,204 mg/l, titik dua 0,209 mg/l sedangkan pada titik tiga konsentrasi nitratnya mencapai 0,213 mg/l. Pada saat kondisi pasang kolam pelabuhan memiliki konsentrasi nitrat minimum 0,116 mg/l, maksimum 0,213 dan rata-rata 0,152 mg/l. Kondisi pasang menuju surut konsentrasi nitrat minimum 0,072 mg/l, maksimum 0,132 mg/l dan rata-rata 0,095 mg/l. Kondisi surut konsentrasi nitrat minimum 0,116 mg/l, maksimum 0,245 mg/l dan rata-rata 0,156 mg/l. Kondisi surut menuju pasang konsentrasi nitrat minimum 0,116 mg/l, maksimum 0,250 mg/l dan rata-rata 0,154 mg/l. Perbandingan konsentrasi nitrat lebih lanjut bisa dilihat pada grafik berikut:



Gambar 8 Grafik Konsentrasi Nitrat tiap Kondisi

Pada tren grafik pada gambar 8 dapat dilihat bahwa konsentrasi nitrat maksimum besar pada kondisi surut dan surut menuju pasang dengan konsentrasi mencapai 0,250 mg/l dan 0,245 mg/l. Konsentrasi pasang dan surut sangat berbeda, pada saat surut konsentrasi nitrat lebih besar daripada saat kondisi pasang. Perbedaan konsentrasi yang terjadi diakibatkan oleh proses biologis yang terjadi pada dasar laut.

Nilai konsentrasi nitrat di Pelabuhan Perikanan Nusantara Jembrana Bali bervariasi, yaitu berkisar 0,112-0,570 mg/l. Konsentrasi tertinggi berada pada titik 1,2 dan 3, titik yang dimaksud

adalah titik pengambilan sampel seperti pada (Gambar 1). Berdasarkan hasil analisis nitrat, nilai konsentrasi nitrat berkisar antara 0,112 mg/l - 0,570 mg/l. Tingginya konsentrasi nitrat yang berada pada titik 1,2,3 dan 4 (Gambar 1) diduga dipengaruhi oleh lokasi titik tersebut berhubungan dengan kedalaman. Titik ini memiliki kedalaman perairan yang relatif lebih dangkal dibandingkan dengan titik yang lain, sehingga pada stasiun ini diduga terjadi resuspensi sedimen yang salah satunya pengaruh biologis didasar laut.

Pada wilayah perairan dangkal resuspensi sedimen dapat terjadi yang diakibatkan karena adanya gelombang laut yang dibangkitkan oleh pasang surut. Resuspensi sedimen adalah salah satu proses yang memiliki andil dalam penyumbangan masuknya nutrisi penting seperti nitrat, amonium dan fosfat yang berasal dari sedimen ke kolom perairan (Dziolawski *et al.*, 2008). Tingginya konsentrasi nitrat pada titik 1,2,3 dan 4 (Gambar 1) ini juga berkaitan dengan pH, apabila nilai pH tinggi dapat memicu terjadinya proses nitrifikasi. Kondisi tersebut dibuktikan dengan nilai pH pada titik ini lebih tinggi (mendekati 8.0) dibandingkan dengan stasiun lain, menurut Effendi (2003) nilai pH yang optimum untuk terjadinya proses nitrifikasi adalah 8-9, sehingga pada pH < 6 reaksi akan berhenti. Nitrifikasi merupakan suatu proses oksidasi amonia menjadi nitrit dan nitrat, dimana peristiwa ini terjadi pada kondisi aerob. Pada titik 1,2,3 dan 4 (Gambar 1) ini diduga mengalami proses nitrifikasi dalam waktu yang cepat, sehingga nilai konsentrasi pada titik ini lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun yang lain.

Konsentrasi nitrat terendah di permukaan ditunjukkan oleh titik 6,8,10, dan 12 (Gambar 1), dengan nilai konsentrasi berkisar 0,112 mg/l - 0,213 mg/l, titik ini berada di laut lepas yang jauh dari sumber nitrat. Menurut Muchtar (2001), estuary merupakan salah satu sumber nutrisi di perairan laut, dimana pada umumnya konsentrasi nutrisi di muara akan lebih tinggi dan akan lebih rendah menuju arah laut lepas. Rendahnya konsentrasi nitrat pada titik ini diduga dipengaruhi oleh salinitas, dimana nilai salinitas pada titik ini relatif lebih tinggi yaitu sebesar 31 ppt. Tingginya nilai salinitas di perairan dapat mempengaruhi nilai konsentrasi nitrat. Hal ini diperkuat oleh Montani (1998), konsentrasi nitrat akan menurun seiring dengan meningkatnya salinitas, sehingga pada titik 6,8,10, dan 12 (Gambar 1) ini memiliki konsentrasi nitrat relatif rendah.

Dari hasil model sebaran nitrat yang di peroleh di Pelabuhan Perikanan Nusantara Jembrana terjadi perbedaan antara penelitian terdahulu, yang dimana penelitian yang dilakukan sekarang terjadi penurunan konsentrasi namun masih melebihi baku mutu yang ditetapkan oleh KepMen LH No. 51 Tahun 2004 tentang baku mutu air laut untuk biota dan PerGub Bali No. 16 Tahun 2016 tentang baku mutu lingkungan Hidup dan kriteria baku kerusakan lingkungan hidup yaitu sebesar 0,008 mg/l. Menurut Suteja and Purwiyanto (2018) menyatakan bahwa keadaan konsentrasi nitrat yang melebihi baku mutu akan menimbulkan terjadinya proses eutrofikasi.

4. Kesimpulan

Pola sebaran nitrat setiap elevasi pasang surut di daerah kolam pelabuhan cenderung tinggi di bagian kolam pelabuhan dengan nilai konsentrasi minimum 0,112 mg/l dan maksimum mencapai 0,570 dan pola sebaran konsentrasi nitrat di perairan diduga

dipengaruhi oleh proses biologis yang terjadi di dalam perairan seperti (dekomposisi dan kehadiran fitoplankton) serta dipengaruhi oleh arus laut dan parameter fisika kimia perairan (suhu, salinitas, kandungan oksigen terlarut (DO), derajat keasaman (pH) dan kedalaman). Secara keseluruhan hasil analisa dan pengukuran nitrat di perairan Pelabuhan Perikanan Nusantara Jembrana Bali terjadi perbedaan antara penelitian terdahulu dan penelitian yang sekarang yang dimana konsentrasi nitratnya mengalami penurunan. Namun, tetap melebihi melebihi baku mutu yang telah ditetapkan oleh KepMen LH No. 51 Tahun 2004 tentang baku mutu air laut untuk biota dan PerGub Bali No. 16 Tahun 2016 tentang baku mutu lingkungan Hidup dan kriteria baku kerusakan lingkungan hidup yaitu sebesar 0,008 mg/l. Standar baku mutu yang sudah ditetapkan oleh Kementerian Negara Lingkungan Hidup (KMN LH).

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak *Centre for Remote Sensing and Ocean Sciences* (CReSOS) dan teman-teman Ilmu Kelautan atas segala bantuan yang telah diberikan dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [LIPI] Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. (2015). Eutrofikasi Penyebab Kematian Massal Ikan. <http://lipi.go.id/lipimedia/-eutrofikasi-penyebab-kematian-massal-ikan/10464>. [19 Oktober 2017]
- [LIPI] Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. (2017). *Penelitian Oseanografi di Teluk Jakarta 1970-2015*. Jakarta
- Bagaskara, I. G. D., Suteja, Y., & Hendrawan, I. G. (2020). Pemodelan Pergerakan Mikroplastik di Selat Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 6(2), 205-215.
- Chen C, Beardsley RC, Cowles G. (2006). An Unstructured Grid, Finite Volume Coastal Ocean Model (FVCOM) User Manual. SMAST/UMASSD-06-0602. Chester R. 1990. *Marine Geochemistry*. UNWIN HYMAN. London.
- Citra, L. S., Supriharyono, S., & Suryanti, S. (2020). Analisis kandungan bahan organik, nitrat dan fosfat pada sedimen mangrove jenis *avicennia* dan *rhizophora* di desa tapak tugurejo, semarang the analysis of organic content, nitrate, phosphate in the sediment of mangrove *rhizophora* dan *avicennia* at tapak village, tugurejo semarang. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 9(2), 107-114.
- Dzialowski, A.R., S. Wang and N. Choo. (2008). Effects Of Sediment Resuspension On Nutrien Concentrations and Algal Biomass in Reservoirs Central Plains. *Lake and Reservoir Management*. pp 313 - 320.
- Effendi, H. (2003). Telaah kualitas air bagi pengelolaan sumberdaya dan lingkungan perairan.
- Ge, J., Torres, R., Chen, C., Liu, J., Xu, Y., Bellerby, R., ... & Ding, P. (2020). Influence of suspended sediment front on nutrients and phytoplankton dynamics off the Changjiang Estuary: A FVCOM-ERSEM coupled model experiment. *Journal of Marine Systems*, 204, 103292.
- Hendrawan IG, Asai K. (2014). Numerical study on tidal currents and seawater exchange in the Benoa Bay, Bali, Indonesia. *Acta Oceanologica Sinica*. 33(3): 90.
- Hendrawan IG, Uniluha D, Maharta I. (2016). Karakteristik Total Padatan Tersuspensi (Total Suspended Solid) Dan Kekeruhan (Turbidity) Secara Vertikal Di Perairan Teluk Benoa, Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*.2(1): 29-33.
- Hutagalung, H.P., dan Rozak, A. (1997). Penentuan kadar Nitrat. Metode Analisis air laut, sedimen dan biota. pusat penelitian dan pengembangan Oceanologi: *Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia* (LIPI)
- Maharta IPRF, Hendrawan I G, Suteja Y. (2018). Prediksi Laju Sedimentasi di Perairan Teluk Benoa Menggunakan Pemodelan Numerik [skripsi]. Bukit, Jimbaran: Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas udayana. 26 hal
- Manasrah, R., M. Raheed, and M. I. Badran. (2006). Relationship Between Water Temperature, Nutrien and Dissolved Oxigen in The Northern. *Oceanologia*, 48 (2): 237-253.
- Menteri Negara Lingkungan Hidup. (2004). KEPMEN LH NO. 51 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Laut. Jakarta.
- Mustiawan, K., Wulandari, S. Y., & Indrayanti, E. (2014). Distribusi Konsentrasi Nitrogen Anorganik Terlarut pada Saat Pasang dan Surut di Muara Sungai Perancak dan Industri Pelabuhan Perikanan Pengembangan Bali. *Journal of Oceanography*, 3(3), 438-447.
- Patty SI, Arfah H, Abdul MS. (2015). Zat Hara (Fosfat, Nitrat), Oksigen Terlarut dan pH Kaitannya Dengan Kesuburan di Perairan Jikumerasa, Pulau Buru. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*. 1(1): 43-50.
- Raharjaa, I. M. D., Hendrawana, I. G., & Sutejaa, Y. (2018). Pemodelan distribusi nitrat di kawasan perairan Teluk Benoa. *J. Mar. Res. Technol.*, 1(1), 22-28
- Raharjaa, I. M. D., Hendrawana, I. G., & Sutejaa, Y. (2018). Pemodelan distribusi nitrat di kawasan perairan Teluk Benoa. *J. Mar. Res. Technol., Journal of Materials Research and Technology*. 1(1), 22-28
- Rahayu NWST, Hendrawan IG, Suteja Y. (2018). Distribusi Nitrat dan Fosfat Secara Spasial dan Temporal Saat Musim Barat Di Permukaan Perairan Teluk Benoa, Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*. 4(1): 1-13.
- Risamasu FJ, Prayitno HB. (2012). Kajian Zat Hara Fosfat, Nitrit, Nitrat dan Silikat di Perairan Kepulauan Matasiri, Kalimantan Selatan. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*. 16(3): 135-142.
- Simanjuntak M. (2012). Kualitas air laut ditinjau dari aspek zat hara, oksigen terlarut dan pH di perairan Banggai, Sulawesi Tengah. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 4(2): 290-303.
- Soliwoda J. (2014). Methods of Vessel Casualty Process Assessment. *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 8.
- Sugiono. (2012). Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D. Bandung: *Alfabeta*.

- Suniada, K. I., Islamy, F., Saputra, A. J., Hadiani, S., Mahardhika, R. M. P., & Susilo, E. (2015). Dinamika oseanografi terhadap hasil tangkapan ikan pelagis PPN Pengembangan dari data satelit MODIS. In Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2015.
- Suteja Y, Purwiyanto AIS. (2018). Nitrate and phosphate from rivers as mitigation of eutrophication in Benoa bay, Bali-Indonesia. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 162(1). IOP Publishing
- Suteja Y. (2016). Beban Pencemar Dan Kapasitas Asimilasi Amonium dan Nitrat Saat Pucak Musim Barat di Teluk Jakarta. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*. 2(1): 16-22.
- Tuahatu WJ, Tubalawony S. (2008). Sebaran Nitrat dan Fosfat Pada Massa Air Permukaan Selama Bulan Mei 2008 Di Teluk Ambon Bagian Dalam. *Triton (Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan)*. 5: 34-40.