

**POLA SEBARAN VERTIKAL NUTRIEN PADA MUSIM PERALIHAN  
DI TELUK WEDA, MALUKU UTARA**

***VERTICAL DISTRIBUTION OF NUTRIENTS ON TRANSITIONAL SEASON  
IN WEDA BAY, NORTH MALUKU***

**Faisal Hamzah<sup>1\*</sup>, Abdul Basit<sup>2</sup>, dan Iis Triyulianti<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Balai Penelitian dan Observasi Laut, Balitbang KP-KKP, Perancak, Bali

<sup>2</sup>Pusat Penelitian Laut Dalam, LIPI, Ambon

\*Email: faisalhamzah@kkp.go.id

**ABSTRACT**

*A vertical distribution of nutrient shows an interaction of physical processes, source, and uptake along the water column. These interactions can occur along the water column with different processes in each layer. Water samples from 17 stations were collected for nitrate, phosphate, and silicates concentration analyses during the transitional season in the Weda Bay. During the transitional season, the Weda Bay was characterized by low salinity (33.55-34.10), relatively warm temperature (30.87°C), and the relatively low nutrient concentrations (nitrate=0.03-4.87 µg at/l, phosphate=0.011-0.852 µg at/l, and silicate=0.04-1.21 µg at/l). The present of Western North Pacific Ocean (WNPO) watermass and the influence of Southern Subtropical Lower Water (SSLW) producing high salinity (>35) at the depth of 130-300 m were observed along the Weda Bay. Nutrient geochemical processes in this region were shown by nutrient utilization and regeneration across the water columns. Nutrients utilization was relatively high in the surface layer. Meanwhile, nutrients regeneration and remineralization were more dominant in the thermocline and deeper water layers. Analyses of nutrients showed that nitrate was more dominant than other nutrients with N/P ratio was 3.83-37.99 and N/Si ratio was 0.12-10.98. The effectiveness of silicate (0.25 µg at/l) that was used by phytoplankton found at a depth of 200 m when its concentration decreased at N/P ratio (16:08) close to the Redfield ratio. Due to an uptake, remineralization, and regeneration processes in each layer, a nutrient distribution pattern was formed which the nutrient concentrations decreased in mixed layer and increased in the deeper water.*

**Keywords:** *nutrien, pattern, Weda Bay, transitional season*

**ABSTRAK**

Pola sebaran vertikal nutrien menunjukkan interaksi terhadap proses fisik, sumber, dan pemanfaatannya di kolom perairan. Interaksi tersebut dapat terjadi sepanjang kolom perairan dengan proses yang berbeda di setiap lapisan. Sebanyak 17 stasiun pada musim Peralihan di Teluk Weda diambil untuk dianalisa konsentrasi nutrien yaitu nitrat, fosfat, dan silikat. Pada musim Peralihan, Teluk Weda dicirikan oleh salinitas yang rendah (33,55-34,10), suhu yang relatif hangat (30,87°C), dan konsentrasi nitrat (0.03- 4.87 µg at/l), fosfat (0.011-0.852 µg at/l) serta silikat (0.04-1.21 µg at/l) cenderung rendah. Massa air dari *Western North Pacific Ocean* (WNPO) ditemukan di Teluk Weda dan dipengaruhi oleh massa air *Southern Subtropical Lower Water* (SSLW) sehingga menjadikan nilai salinitas maksimum (>35) terutama pada kedalaman 130-300 m. Proses geokimiawi nutrien yang terjadi diperlihatkan dengan adanya pemanfaatan dan regenerasi nutrien di seluruh lapisan. Pemanfaatan nutrien lebih tinggi terjadi pada lapisan permukaan, sedangkan pada lapisan termoklin dan lapisan dalam lebih didominasi oleh regenerasi dan remineralisasi. Hasil analisa menunjukkan bahwa nitrat merupakan nutrien dominan dibandingkan nutrien lainnya dengan nilai rasio N/P=3.83-37.99 dan N/Si=0.12-10.98. Terjadi efektivitas silikat (0.25µg at/l) oleh fitoplankton dimana konsentrasinya menurun saat rasio N/P (16.08) mendekati rasio Redfield pada kedalaman 200 m. Akibat pemanfaatan, remineralisasi, dan regenerasi nutrien tiap lapisan kedalaman maka terbentuklah pola distribusi nutrien dimana di lapisan tercampur konsentrasinya menurun dan meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman.

**Kata kunci:** nutrien, pola sebaran, Teluk Weda, musim peralihan

## I. PENDAHULUAN

Nitrat, fosfat dan silikat merupakan makro nutrien yang keberadaannya sangat dibutuhkan oleh organisme di laut seperti fitoplankton (Chester, 1993). Di laut, fosfat berada dalam bentuk *dissolved inorganic phosphorus (orthophosphate dan  $\text{HPO}_4^{-2}$ ), organic phosphorus and particulate phosphorus*. Silikat berada dalam bentuk partikulat dan terlarut (*orthosilicate dan  $\text{Si}(\text{OH})_4$* ), sedangkan untuk unsur-unsur yang mengandung N (nitrogen) di laut terbagi menjadi 4 kelompok yaitu *molecular nitrogen ( $\text{N}_2$ )*, inorganik (nitrat, nitrit, dan ammonia), organik nitrogen yang berasosiasi dengan organisme (asam amino dan urea) dan partikulat nitrogen (Chester, 1993). Nutrien tersebut mengalami proses yang sangat kompleks baik pada lapisan tercampur, lapisan termoklin maupun lapisan dalam dan karena sifat-sifatnya, masing-masing nutrien memiliki respon yang berbeda-beda terhadap proses-proses di laut (Hamzah, 2006; Libes, 1992). Hal tersebut juga dapat dicerminkan oleh *residence time* yang berbeda-beda dari setiap nutrien (Chester, 1993). Secara fisik, setiap nutrien akan mengalami persebaran akibat sirkulasi massa air sehingga keberadaannya akan bervariasi secara geografis. Setiap nutrien maupun unsur yang terkandung didalamnya juga akan berinteraksi dengan material lain (organik maupun inorganik). Interaksi tersebut menunjukkan sistem kesetimbangan setiap unsur di laut (Libes, 1992).

Proses pemanfaatan, regenerasi maupun remineralisasi nutrien terjadi sepanjang kolom perairan sehingga perbandingan antar nutrien seperti nitrat: fosfat (N/P), nitrat: silikat (N/Si); silikat: nitrat/fosfat (Si:N/P) akan membentuk sebuah pola sebaran terhadap kedalaman (Chester, 1993). Rasio N/P dilaut secara tidak langsung dikontrol oleh proses remineralisasi biomassa fitoplankton (Mill dan Arrigo, 2010). Selain itu, perubahan rasio N/P beragam dan sangat tergantung pada struktur komunitas fitoplankton dan kandungan oksigen terlarut (Planavsky, 2014).

Pemanfaatan silikat pada kolom perairan oleh fitoplankton (diatom) akan semakin tinggi efektifitas penyerapannya yang menyebabkan nilai silikat akan rendah (Prayitno dan Suherman, 2013). Konsumsi silikat tersebut akan maksimum saat mendekati rasio molar N/P dan bisa terjadi sepanjang kolom perairan (Zhang *et al.*, 2006). Hasil penelitian Prayitno dan Suherman (2013) di sekitar perairan Kepulauan Tambelan dan Serasan menunjukkan bahwa konsentrasi silikat cenderung rendah saat rasio N/P mendekati 16 yang dimungkinkan karena ketersediaan silikat cukup banyak dan efektif dikonsumsi oleh diatom. Masukan nutrien dari daratan secara tidak langsung akan mempengaruhi rasio N/P. Perubahan rasio tersebut dapat mempengaruhi rantai makanan mulai yang dimulai dari dominasi spesies hingga kelimpahan plankton (Prayitno dan Suherman, 2013). Di daerah pesisir, rendahnya nilai silikat bisa disebabkan oleh proses eutrofikasi (Conley *et al.*, 1993).

Teng *et al.* (2014) mengkaji pengaruh variabilitas-rasio C/P dan N/P pada biomassa fitoplankton dengan C/P pada bahan organik dimana terjadi pergerakan (*export*) menuju laut dalam terutama pada lintang tinggi. Planavsky (2014) meneliti fenomena tersebut di *Southern Ocean* dan menemukan perubahan rasio N/P yaitu berubah dari 12:1 menjadi 20:1. Hal yang sama juga terjadi di lintang 45-65°N dimana perubahan rasio N/P terjadi dari 14:1 menjadi 17:1 dan lintang 15-45°N yaitu 15:1 menjadi 37:1 (Martiny *et al.*, 2013). Adanya perubahan rasio tersebut disebabkan oleh struktur komunitas fitoplankton seperti *Cyanobacteria prochlorococcus* dan *Synechococcus*, *Picoeukaryotes* dan bakteri heterotrofik *Pelagibacter* (Martiny *et al.*, 2013). Sirkulasi termohalin (*Great Conveyor Belt*) yang melintasi perairan Indonesia tentunya akan berpengaruh terhadap parameter fisik dan kimia. Teluk Weda yang berhadapan dengan Laut Halmahera merupakan perairan dinamis di Timur Indonesia. Laut Halmahera sendiri merupakan salah jalur *Indonesian Through-flow (ITF)* yang membawa

30% massa air dari *Western North Pacific Ocean* (WNPO) selain Selat Makassar (Gordon *et al.*, 2010). Setidaknya adanya massa air dari WNPO yang masuk ke Teluk Weda melalui ITF ini, akan mempengaruhi nutrisi pada perairan Teluk Weda. Perbedaan suhu, salinitas, dan densitas di teluk ini juga diduga akan mempengaruhi konsentrasi nutrisi sehingga akan berpengaruh juga terhadap produktivitas perairan Teluk Weda.

Dalam penelitian ini diteliti kondisi fisika perairan seperti suhu dan salinitas baik secara vertikal maupun horizontal pada musim peralihan. Selain itu asal massa air yang melintas di perairan Teluk Weda yang berpengaruh terhadap proses geokimia nutrisi juga dianalisa. Hal yang sama juga untuk nutrisi, konsentrasi secara horisontal maupun vertikal dari darat menuju laut lepas juga dianalisa. Analisa pemanfaatan nutrisi di setiap lapisan digunakan dengan pendekatan rasio nitrat dan fosfat (N/P), nitrat dan silikat (N/Si) serta hubungan silikat dengan rasio N/P. Proses diatas erat kaitannya dengan distribusi elemen dimana sangat tergantung sekali dengan pemanfaatan nutrisi, remineralisasi dan regenerasi, kandungan oksigen terlarut, reaksi redoks serta keberadaan bahan organik (*scavenging*) dan resuspensi sedimen (Chester 1993). Nantinya dari pola tersebut akan mencirikan karakteristik pemanfaatan dan sumber dari nutrisi dan terbentuk tipe distribusi mulai dari permukaan hingga lapisan dalam. Oleh karena itu, proses geokimia nitrat, fosfat, silikat, di Teluk Weda sebagai salah satu perairan yang dipengaruhi oleh ITF menjadi sangat penting dalam upaya memperjelas proses geokimia dan mekanisme keberadaan nutrisi di perairan Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan proses geokimia nutrisi pada musim peralihan di perairan Teluk Weda, Maluku Utara.

## II. METODE PENELITIAN

### 2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Pengambilan sampel dilakukan pada tanggal 13-23 Maret 2013 di Teluk Weda,

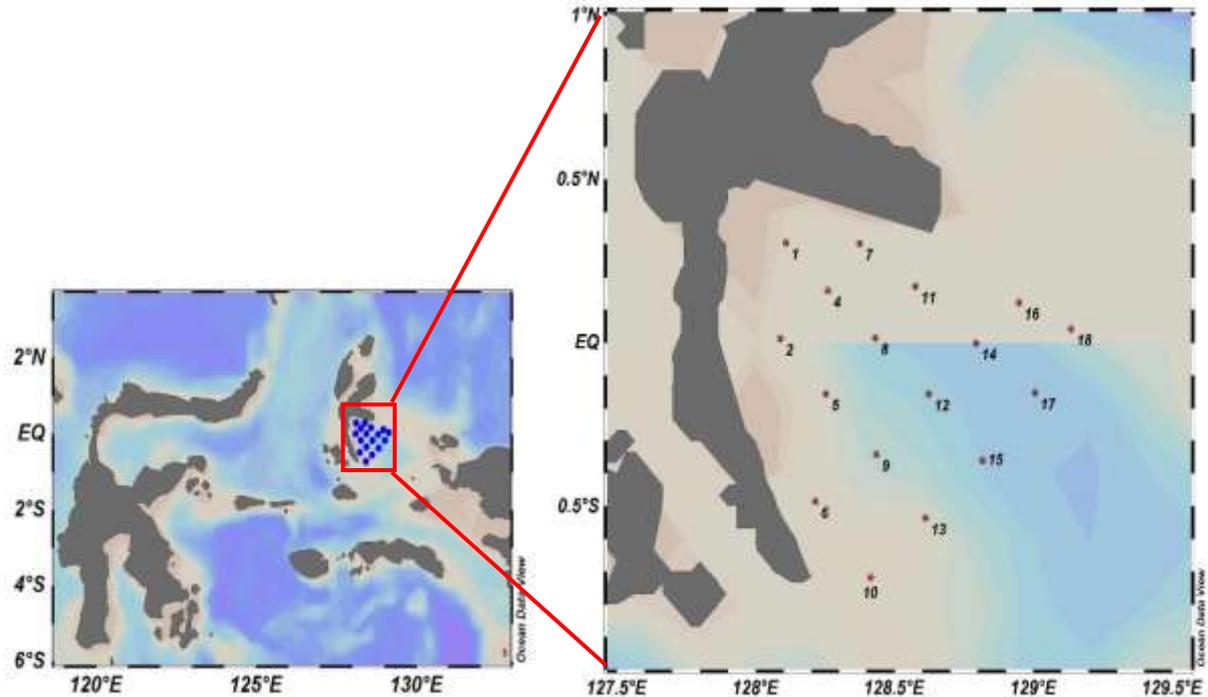
Kabupaten Halmahera Tengah, Provinsi Maluku Utara. Kegiatan pengambilan sampel merupakan rangkaian penelitian oseanografi di Teluk Weda yang dilakukan oleh Pusat Penelitian Laut Dalam, LIPI, Ambon. Sampel air diambil dari 17 stasiun (Gambar 1). Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan Kapal Riset (KR) Baruna Jaya VII.

Letak geografis Teluk Weda di sebelah timur berbatasan dengan Pulau Halmahera bagian selatan, sebelah timur laut berbatasan dengan Selat Jailolo, dan sebelah selatan berbatasan dengan Laut Halmahera. Batimetri Teluk Weda dicirikan oleh kedalaman yang dangkal ~200 m (St 3), sedang ~400-600 m (St 1) dan dalam 1500 m pada bagian tengah teluk (St 8, 12, dan 15) (Basit dan Putri, 2013).

### 2.2. Metode Pengambilan dan Analisa Sampel

Pengambilan sampel air dilakukan dengan menggunakan *rosette bottle* volume 8 L yang terangkai dalam alat CTD (*Conductivity, Temperature, Depth*). Saat CTD turun, maka dapat diketahui profil suhu, salinitas, densitas maupun khlorofil-a setiap stasiunnya, kemudian dilakukan pembagian lapisan kedalaman berdasarkan keterwakilan 3 lapisan utama di perairan yaitu lapisan tercampur (*mix layer*), lapisan termoklin (*thermocline layer*), dan lapisan dalam (*deep layer*). Pada setiap stasiun, pengambilan sampel air untuk analisa nutrisi dibagi pada 10 lapisan kedalaman yaitu 25 m, 50 m, 75 m, 150 m, 200 m, 250 m, 500 m, 750 m, 1000 m, dan 1500 m. Tidak semua stasiun memiliki kedalaman yang sama, sehingga sampel air yang diambil harus mewakili ketiga lapisan tersebut.

Suhu dan salinitas diukur dengan menggunakan *Conductivity-Temperature-Depth Sea Bird Electronics* SBE-911 (CTD-911) dengan keakuratan untuk sensor suhu adalah  $0,001 \pm 0,0002^\circ\text{C}$ , konduktivitas  $0,0003 \pm 0,00004$  S/m dan tekanan adalah  $0,015 \pm 0,001\%$ . Pada saat CTD turun, sensor suhu dan salinitas akan merekam nilai tiap



Gambar 1. Peta lokasi penelitian dan posisi stasiun pengambilan contoh.

kedalaman. Suhu dan salinitas diukur mulai kedalaman 1 m. Setelah sampai pada kedalaman dasar, maka pengambilan sampel air siap dilakukan berdasarkan pada lapisan yang diinginkan. Untuk nutrien (nitrat, fosfat, dan silikat), sebelum dianalisa, terlebih dahulu sampel air disaring dengan menggunakan kertas saring *Whatmann* dengan ukuran pori  $0,45 \mu\text{m}$ . Sampel yang telah tersaring, kemudian dimasukan kedalam botol polietilen dan dimasukan kedalam pendingin pada suhu  $4^{\circ}\text{C}$  (Hutagalung *et al.*, 1997).

Di laboratorium, konsentrasi nutrien diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang tertentu untuk mendapatkan nilai absorbansinya. Nitrat diukur pada panjang gelombang 543 nm, sedangkan fosfat dan silikat diukur pada panjang gelombang 880 nm dan 810 nm (Hutagalung *et al.*, 1997). Hal yang sama juga dilakukan pada larutan blanko (air suling ganda). Setelah nilai absorbansi ketiga nutrien tersebut didapat, kemudian masukan ke dalam kurva kalibrasi bersama larutan blanko dan kadar nutrien dan blanko dapat dihitung

### 2.3. Analisa Data

Untuk menjelaskan proses geokimia nutrien pada musim peralihan, maka perlu diketahui terlebih dahulu kondisi parameter fisika perairan Teluk Weda. Untuk itu dibuat profil vertikal dan horisontal suhu dan salinitas. Dikarenakan Teluk Weda berada di lintasan jalur ITF, maka perlu diketahui massa air yang melintas dengan cara membuat TS diagram. Untuk mengetahui konsentrasi nutrien, dibuat pola sebaran baik secara horisontal maupun vertikal. Perubahan konsentrasi nutrien dari daratan menuju laut lepas juga dibuat dengan cara menarik transek stasiun secara tegak lurus. Analisa pemanfaatan nutrien di setiap lapisan digunakan pendekatan rasio nitrat dan fosfat (N/P), rasio nitrat dan silikat (N/Si) hubungan antara konsentrasi silikat dengan rasio N/P. Dari proses diatas, nantinya diketahui profil nutrien di Teluk Weda. Untuk membuat grafik tersebut, dibantu dengan menggunakan software *Ocean Data View* versi 4.5.6 (Schlitzer, 2014).

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

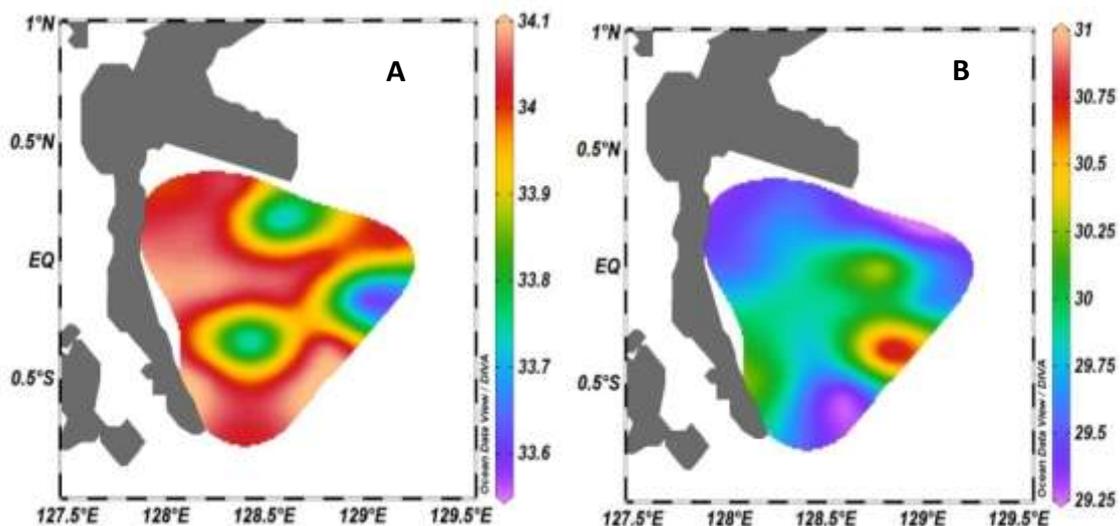
#### 3.1. Distribusi Horisontal Suhu dan Salinitas

Distribusi horisontal salinitas pada lapisan permukaan (1-10 m) di Teluk Weda pada musim peralihan menunjukkan nilai salinitas rendah terutama pada stasiun 9 (33,69), stasiun 11 (33,68) dan stasiun 17 (33,59). Stasiun lainya menunjukkan nilai salinitas lebih besar 33,70. Secara umum, nilai salinitas pada lapisan permukaan di Teluk Weda menunjukkan nilai yang rendah yaitu berkisar antara 33,55-34,10 (Gambar 2A). Untuk stasiun 17, rendahnya nilai salinitas pada stasiun ini diduga massa air yang terukur salinitasnya adalah bagian dari massa air *Western North Pacific Ocean* (WNPO) lapisan permukaan yang dicirikan oleh nilai salinitas lebih rendah dari 34 terutama pada bulan Maret, Mei dan Juni (Atmadipoera *et al.*, 2004). Atmadipoera *et al.* (2004) juga mengobservasi nilai salinitas di *Western North Pacific Ocean*, utara perairan Halmahera (2°N, 130°E) dimana nilai salinitas tersebut sangat rendah. Massa air WNPO tersebut kemudian bergerak ke perairan Laut Halmahera dan masuk ke Teluk Weda. Nilai salinitas di Teluk Weda

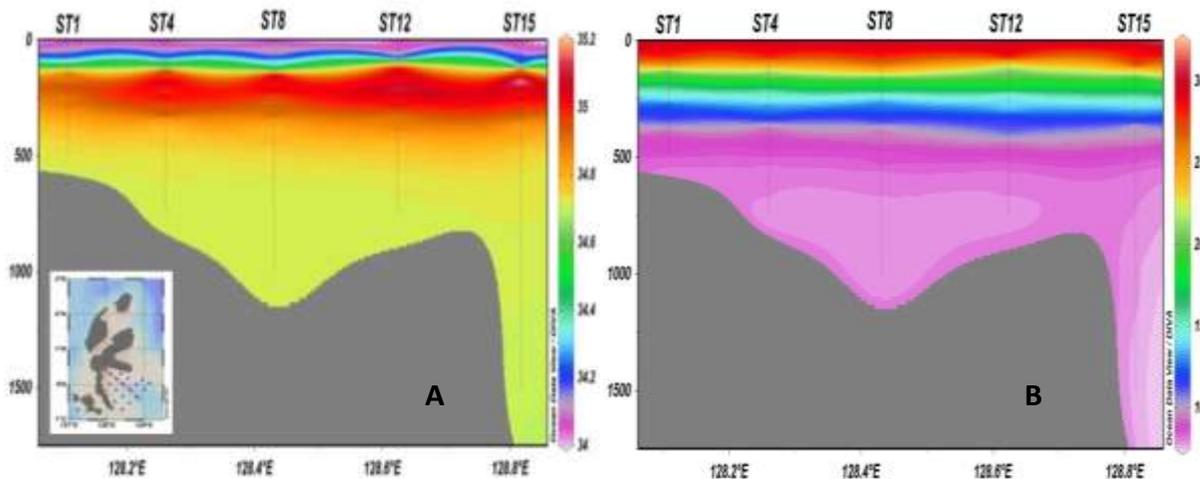
lebih rendah dibandingkan di Laut Banda 34,15-34,96 (Hamzah, 2006) dan perairan Sangihe Talaud 34,6-35,1 (Radjawane dan Hadipoetranto, 2014). Distribusi horisontal suhu kedalaman 1-10 m menunjukkan nilai yang lebih rendah di daerah pesisir dibandingkan dengan laut terbuka (kedalaman 1-10 m) dengan kisaran 29,25-31°C. Stasiun 1, 11, 13, dan 16 memiliki nilai suhu lebih rendah (<29,50°C) dibandingkan dengan stasiun lainnya. Suhu tertinggi ditemukan pada stasiun 15 yaitu 30,87°C. Nilai suhu permukaan di Teluk Weda umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan suhu permukaan di Laut Banda 27,28°C (Hamzah, 2006) dan Perairan Sangihe Talaud 30°C (Radjawane dan Hadipoetranto, 2014).

#### 3.2. Distribusi Vertikal Suhu dan Salinitas

Untuk melihat distribusi vertikal, maka dilakukan transek dari pesisir menuju laut lepas yang terdiri dari stasiun 1, 4, 8, 12 dan 15 (Gambar 3). Berdasarkan Gambar 3A, distribusi salinitas dari pesisir menuju laut lepas mempunyai profil yang sama yaitu rendah di permukaan (kedalaman 1-50 m) kemudian terjadi perubahan salinitas pada kedalaman 50-130 m. Ada peningkatan nilai salinitas (>35) pada kedalaman 130-300 m



Gambar 2. Distribusi horisontal salinitas (A) dan suhu (°C) (B) pada lapisan permukaan (1-10 m) di Teluk Weda, Maluku Utara.



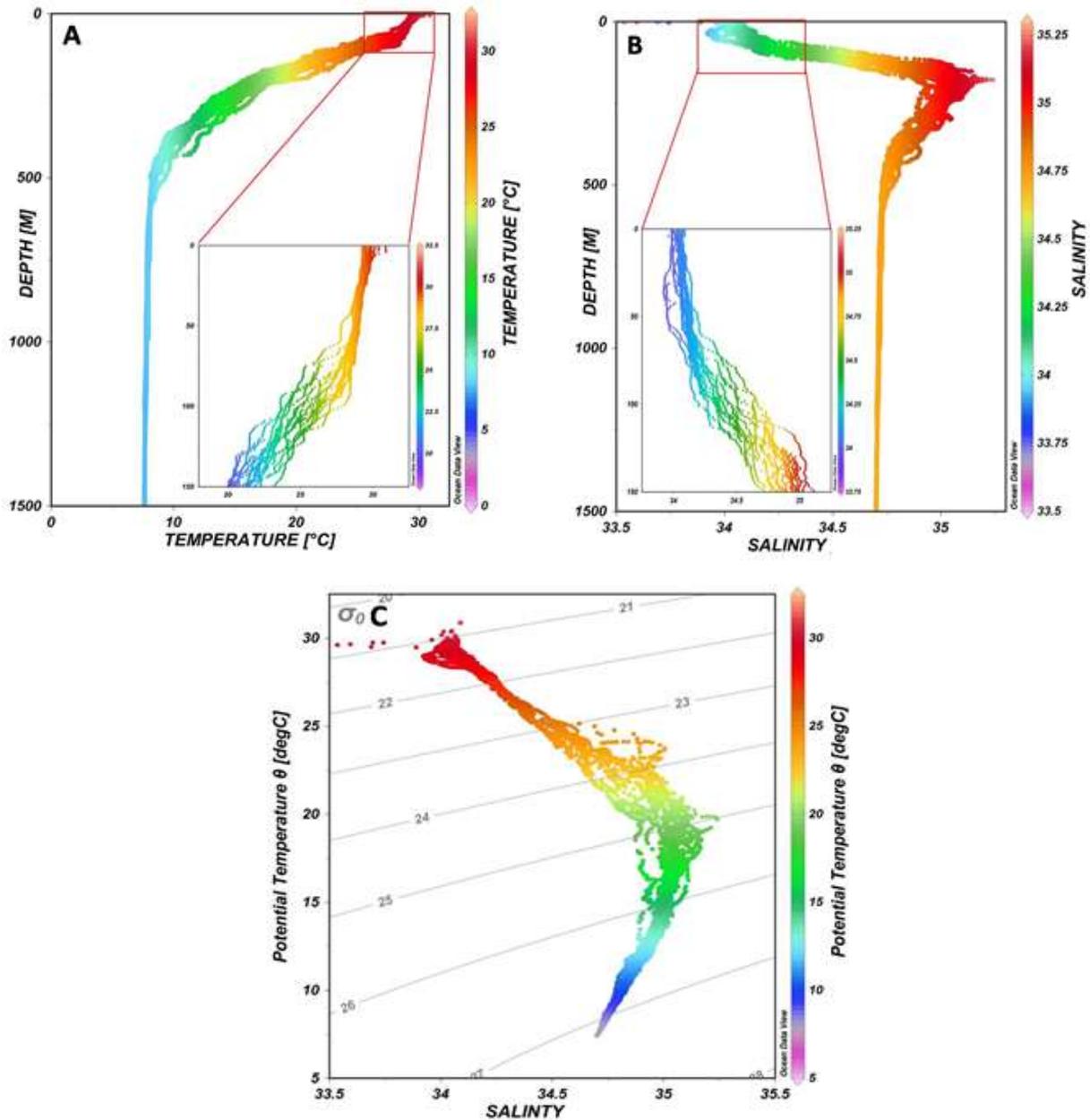
Gambar 3. Distribusi vertikal salinitas (A) dan suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ) (B) di Teluk Weda, Maluku Utara.

dan diikuti oleh salinitas yang konstan hingga lapisan dalam. Hal tersebut juga sama yang dilakukan oleh Wyrтки (1961) di *Western North Pacific Ocean* dimana pada lapisan termoklin terdapat massa air yang memiliki salinitas lebih besar 35. Pada kedalaman 130-300 m di stasiun 1, nilai salinitas kecil dibandingkan stasiun lainnya (Gambar 3A). Hal ini diduga disebabkan oleh pengaruh *Southern Subtropical Lower Water* (SSLW) di Teluk Weda tidak sampai pada stasiun 1. Distribusi vertikal suhu menunjukkan nilai yang seragam pada kedalaman 1-85 m, kemudian terjadi perubahan yang signifikan pada kedalaman 85-300 m dan cenderung seragam serta mengalami perubahan yang sangat kecil hingga kedalaman 1500 m ( $<10^{\circ}\text{C}$ ).

### 3.3. Karakteristik Massa Air

Analisa sumber massa air suatu perairan bisa diketahui berdasarkan karakteristik suhu dan salinitas (Wyrтки, 1961). Salinitas dan suhu digunakan untuk mengetahui asal dari massa air dan laju pergerakannya. Selain itu, suhu juga sangat mempengaruhi variasi vertikal densitas dan besarnya gradien suhu di daerah termoklin bisa digunakan untuk mengetahui intensitas stratifikasi densitas (Wyrтки, 1961; Libes, 1992). Teluk Weda yang masuk dalam perairan Laut Halmahera sangat dipengaruhi oleh massa air

yang melintas dari Samudera Pasifik terutama *Western North Pacific Ocean* (WNPO) (Basit dan Putri, 2013). Massa air tersebut dari Laut Halmahera kemudian bergerak menuju Laut Banda dan ke Samudera Hindia melalui Selat Lombok, Laut Timor dan Selat Ombai (Gordon *et al.*, 2010; Basit dan Putri, 2013). Analisa *Mixed Layer Depth* (MLD) digunakan untuk mengetahui seberapa tebal lapisan tercampur di suatu perairan (Basit dan Putri, 2013). Berdasarkan analisa MLD di Teluk Weda, lapisan tercampur mempunyai ketebalan  $\sim 50$  m dari permukaan dimana pada lapisan ini diketahui nilai rata-rata suhu dan salinitas masing-masing adalah  $29,2^{\circ}\text{C}$  dan 34 (Gambar 4A dan 4B). Lapisan termoklin (lapisan dimana terjadi perubahan suhu secara drastis terhadap kedalaman) terjadi pada kedalaman 50 m ( $29^{\circ}\text{C}$ ) hingga 300 m ( $12^{\circ}\text{C}$ ) (Gambar 4A). Lapisan termoklin dan kedalaman termoklin di Teluk Weda masing-masing mempunyai ketebalan  $\sim 116$  m dan  $\sim 163$  m (Basit dan Putri, 2013). Pada selang kedalaman tersebut (50-300 m), terdapat pula perubahan nilai salinitas yang melebihi nilai 35. Jika dilihat pada profil vertikal salinitas pada Gambar 3A ( $\sim 250$  m), nilai salinitas sangat tinggi (35) mulai dari stasiun terluar hingga menuju pesisir teluk (stasiun 15, 12, 8, dan 4). Namun, pada stasiun 1 nilai salinitas sangat berkurang ( $<35$ ). Pengaruh *Southern Sub*



Gambar 4. Sebaran vertikal suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ) (A), salinitas (B), dan TS diagram (C) di Teluk Weda Maluku Utara. Gambar inset A dan B (kedalaman 0-150 m) merupakan lapisan tercampur dimana suhu dan salinitas berubah mulai kedalaman 50m. Untuk Gambar C terdapat angka dari 20 s.d 28 (abu-abu) yang menunjukkan isopycnal, dimana pada lapisan tersebut memiliki nilai densitas yang sama.

*tropical Lower Water* (SSLW) terhadap massa air WNPO menyebabkan nilai salinitas menjadi tinggi terutama di daerah termoklin (Wyrтки, 1961; Basit dan Putri, 2013). Nilai suhu dan salinitas pada lapisan dalam terlihat konstan pada kedalaman lebih dari 600 m hingga kedalaman 1500 m dengan nilai suhu,

dan salinitas, dan sigma-teta masing-masing adalah 7,8  $^{\circ}\text{C}$ , 34,7 dan 27,1. Massa air yang melintas di suatu perairan mampu mempengaruhi sifat kimiawi air seperti kandungan oksigen terlarut, nutrisi dan mempunyai ciri yang khas. Sebagai contoh massa air *Southern Sub-tropical Lower Water* ditemukan di Teluk Weda memiliki ciri nilai Sali-

nitrat maksimum, suhu berkisar antara 19-27°C, salinitas berkisar antara 35-35,6 dan kandungan oksigen terlarut berkisar 3,2-3,5 mg/l (Basit dan Putri, 2013; Radjawane dan Hadipoetranto, 2014). Di daerah perairan yang mengalami kenaikan massa air dari dasar (*upwelling*), akan diikuti oleh kenaikan konsentrasi nutrien sehingga daerah tersebut menjadi subur dan dikenal dengan istilah *blooming* fitoplankton. Pada setiap lapisan kedalaman, terjadi interaksi pemanfaatan nutrien terutama oleh fitoplankton pada lapisan tercampur (Han *et al.*, 2012). Selain terjadi pemanfaatan nutrien, terdapat pula sumber nutrien selain dari daratan sehingga ada ketersediaan nutrien pada lokasi jauh dari daratan seperti laut lepas (Koike *et al.*, 2001). Sebagai contoh di subartik Pasifik, Koike *et al.* (2001) menyebutkan bahwa sumber utama nutrien seperti nitrat dan silikat pada lapisan eufotik berasal dari lapisan dalam (*deeper layer*) melalui proses pencampuran secara vertikal (*vertical mixing*). Konsentrasi kedua nutrien juga dikontrol oleh keseimbangan antara suplai dan pemanfaatan oleh fitoplankton.

### 3.4. Distribusi Horisontal Nutrien

Untuk nutrien, kedalaman awal pada lapisan tercampur adalah 25 m. Konsentrasi nitrat pada kedalaman 25 m menunjukkan nilai nitrat cenderung tinggi di daerah pesisir (St 6= 0,48  $\mu\text{g at/l}$ ) dibandingkan dengan laut terbuka (Gambar 5A). Hal yang sama juga dapat dilihat pada fosfat dan silikat dimana konsentrasi tertinggi ditemukan di daerah pesisir (St 2= 0,28  $\mu\text{g at/l}$ ; St 6= 0,48  $\mu\text{g at/l}$ ) walaupun silikat pada laut lepas memiliki konsentrasi cenderung tinggi (St 17 dan 18= ~0,63  $\mu\text{g at/l}$ ) (Gambar 5B dan 5C). Pengaruh dari daratan (*human anthropogenic*) diduga meningkatkan konsentrasi nitrat di pesisir. Selain dari daratan, ada mekanisme lain dimana nutrien di pesisir seperti nitrat, fosfat dan silikat meningkat yaitu melalui *submarine groundwater discharge* (SGD) (Uchiyama *et al.*, 2000; Zektser *et al.*, 2007). Mekanisme ini terjadi

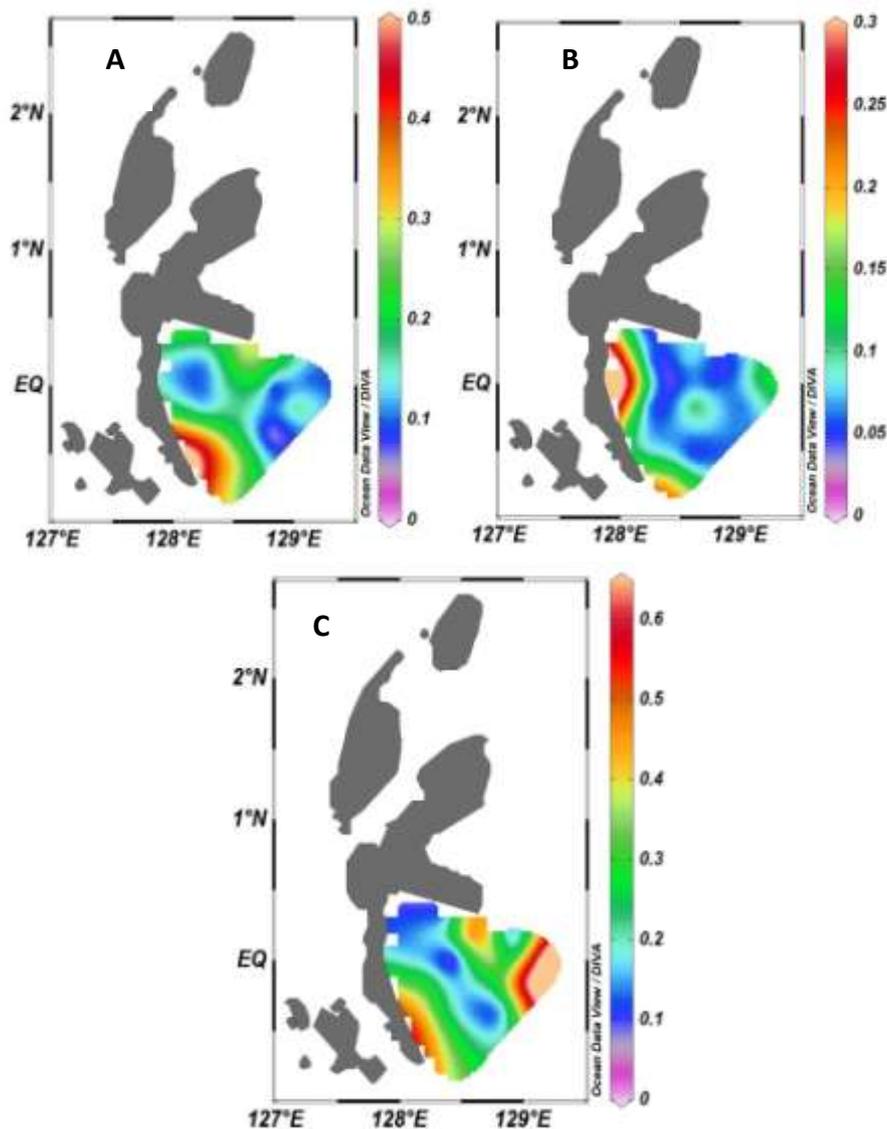
melalui aliran air tawar, air payau dan air laut dari daratan menuju laut dan sebaliknya hingga beberapa puluh meter dari permukaan. Secara umum distribusi horizontal nitrat, fosfat dan silikat pada kedalaman 25 m masing-masing berkisar 0,05-0,5  $\mu\text{g at/l}$ , 0,025-0,30  $\mu\text{g at/l}$  dan 0,05-0,65  $\mu\text{g at/l}$ .

### 3.5. Distribusi Vertikal Nutrien

Transek secara vertikal dari pesisir menuju laut lepas (St 1, 4, 8, 12, dan 15) juga dilakukan untuk mengetahui distribusi nutrien dari lapisan permukaan hingga lapisan dalam. Berdasarkan Gambar 6A, profil vertikal nitrat menunjukkan konsentrasi yang rendah pada lapisan permukaan dan daerah pesisir (St1), kemudian meningkat konsentrasinya menuju laut lepas (St15). Hal yang sama juga terlihat pada konsentrasi fosfat pada lapisan permukaan di daerah pesisir, konsentrasinya cenderung rendah (St 1, 4, dan 8) kemudian pada lapisan dalam di laut lepas juga mengalami penurunan konsentrasi (Gambar 6B). Konsentrasi fosfat tinggi di lapisan dasar (~1000 m) terutama terlihat jelas pada stasiun 4 dan 8. Untuk silikat, konsentrasi dipermukaan rendah kemudian meningkat konsentrasinya dengan bertambahnya kedalaman (Gambar 6C).

Fitoplankton memanfaatkan nitrat untuk proses fotosintesis (produktivitas primer) pada daerah eufotik/lapisan tercampur. Proses pemanfaatan fitoplankton oleh zooplankton juga terjadi di daerah ini (*biological uptake*) (Chester, 1971; Millero and Sohn, 1992). Pada lapisan termoklin hingga lapisan dalam, konsentrasi nitrat cenderung meningkat. Hal ini disebabkan oleh proses *scavenging* menuju daerah yang lebih dalam pada kedalaman 500 m sampai 1500 m (Chester, 1971).

Penurunan konsentrasi fosfat di lapisan permukaan diduga berkaitan pemanfaatan fosfat untuk proses fotosintesis fitoplankton dan pembuatan jaringan lunak organisme (Riley and Chester, 1971). Hal itu berbeda lapisan termoklin dimana konsentrasi fosfat mengalami kenaikan konsentrasi. Tingginya

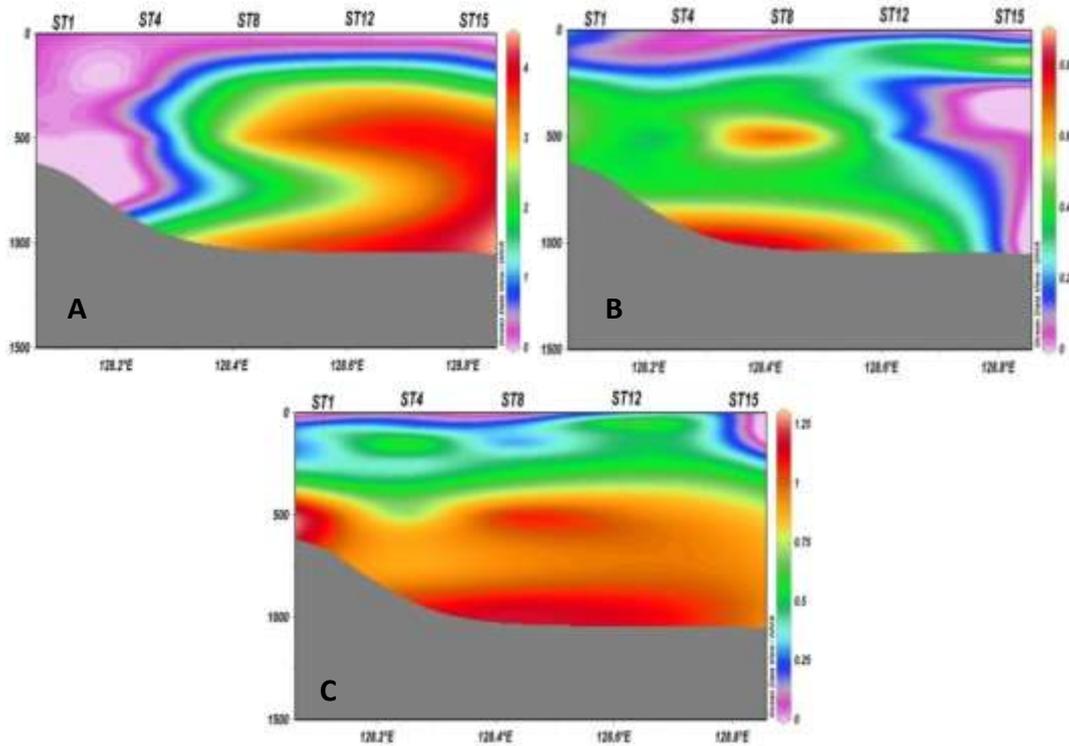


Gambar 5. Sebaran horisontal nitrat ( $\mu\text{g at/l}$ ) (A), fosfat ( $\mu\text{g at/l}$ ) (B), dan silikat ( $\mu\text{g at/l}$ ) (C) pada kedalaman 25 m di Teluk Weda, Maluku Utara.

nilai fosfat di daerah tersebut diduga terjadi proses regenerasi fosfat yang berasal dari fitoplankton dan bakteri yang mati (Millero, 2006). Organik fosfat dalam jaringan fitoplankton secara langsung dikonversi melalui katalis fosfatase (*phosphatase*) yang ada di dalam sel (Riley and Chester, 1971). Dekomposisi detritus yang berasal dari lapisan tercampur juga bisa meningkatkan konsentrasi fosfat di lapisan termoklin. Untuk lapisan dalam, nilai fosfat lebih tinggi dibandingkan lapisan tercampur dan termoklin. Proses regenerasi fosfat yang

berasal dari lapisan termoklin masih terjadi pada lapisan ini. Tingginya fosfat pada lapisan dalam juga diduga karena adanya proses difusi vertikal eddy (Riley and Chester, 1971; Law *et al.*, 2003).

Rendahnya konsentrasi silikat pada lapisan permukaan lebih disebabkan oleh pemanfaatan untuk pembuatan cangkang (skeletal) seperti diatom, radiolaria *sponge* dan *silico flagellata* (Chester, 1993; Nelson *et al.*, 1995). Di laut sendiri, silikat berada dalam bentuk terlarut dan partikulat yang keduanya berasal dari masukan sungai (*river*



Gambar 6. Sebaran vertikal nitrat ( $\mu\text{g at/l}$ ) (A), fosfat ( $\mu\text{g at/l}$ ) (B), dan silikat ( $\mu\text{g at/l}$ ) (C), di Teluk Weda, Maluku Utara.

*run-off*), pelapukan dan deposisi atmosfer. Pada lapisan termoklin, nilai silikat cenderung meningkat hingga ke lapisan dalam. Hal ini lebih disebabkan oleh adanya penguraian dan deposit cangkang atau jaringan skeletal dari diatom dan radiolaria menuju lapisan yang lebih dalam. Deposit cangkang tersebut umumnya dalam bentuk hidrat silikat-opal (Riley and Chester, 1971; Millero and Sohn, 1992). Setelah sampai ke dasar perairan, silikat yang ada dalam jaringan diatom dan radiolaria, akan dikeluarkan dalam bentuk terlarut melalui proses remineralisasi. Proses pengembalian silikat dari lapisan dalam ke lapisan tercampur dibantu oleh proses fisik seperti *upwelling* dan angin pada lapisan tercampur. Proses tersebut umumnya menjaga ketersediaan silikat dalam siklus biogeokimia di laut (Chester, 1993). Nitrat yang diukur di Teluk Weda masih dalam kondisi sangat rendah ( $0,03\text{-}4,87 \mu\text{g at/l}$ ). Hal yang sama juga pada konsentrasi silikat ( $0,04\text{-}1,21 \mu\text{g at/l}$ ) dan fosfat ( $0,01\text{-}0,85 \mu\text{g at/l}$ ). Konsentrasi nitrat dan fosfat di Teluk Weda

lebih rendah dibandingkan di Laut Banda ( $0,98\text{-}30 \mu\text{g at/l}$ ) yang dilakukan oleh Hamzah (2006) namun lebih tinggi dibandingkan di Perairan Tambelan dan Serasan (fosfat=  $0,02\text{-}0,12 \mu\text{g at/l}$ ; nitrat=  $0,28\text{-}0,93 \mu\text{g at/l}$ ) (Prayitno dan Suherman, 2013). Untuk silikat, konsentrasinya lebih rendah dibandingkan di Perairan Tambelan dan Serasan ( $2,03\text{-}4,48 \mu\text{g at/l}$ ) Prayitno dan Suherman (2013).

### 3.6. Rasio N/P, N/Si, dan N/P:Si

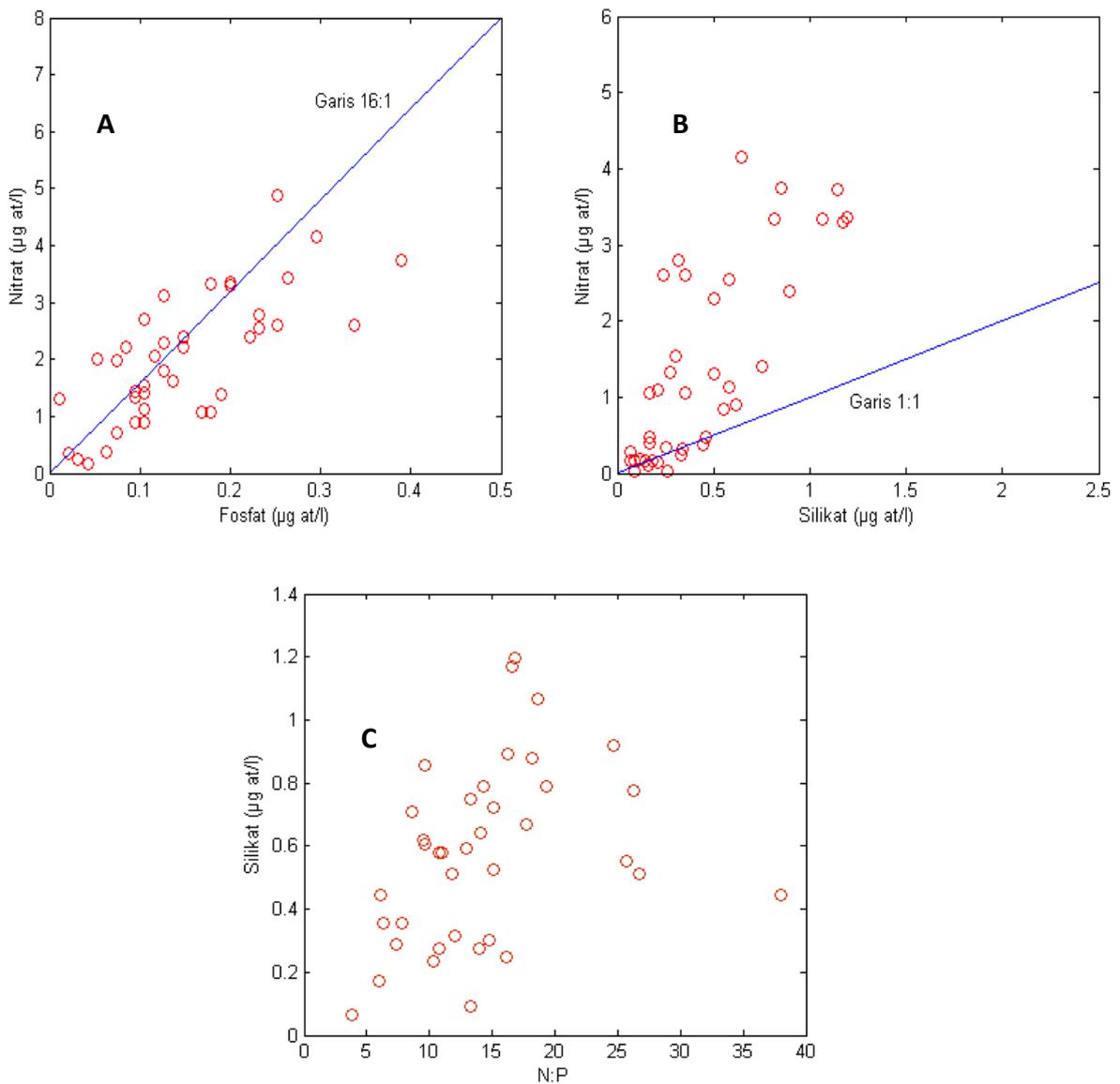
Untuk melihat produktivitas perairan Teluk Weda, maka digunakan pendekatan rasio nitrat dan fosfat (N/P), nitrat dan silikat (N/Si) dan hubungan antara rasio N/P dengan konsentrasi silikat. Awalnya rasio *Redfield* hanya memperhatikan perbandingan antara karbon: nitrogen: fosfor (C:N:P) yaitu 106:16:1, kemudian Brzezinski menambahkan silikon dalam perhitungannya sehingga perbandingan keempat unsur (C:N:Si:P) tersebut adalah 106:16:15:1 (Brzezinski, 1985). Berdasarkan Gambar 7A, dapat dilihat bahwa

rasio N/P cenderung mendekati garis 16:1 walaupun ada beberapa rasio dibawah maupun diatas garis rasio. Nilai rasio diatas garis 16:1 menandakan perairan tersebut memiliki konsentrasi nitrat yang tinggi, sedangkan jika dibawah garis rasio menandakan konsentrasi fosfat yang rendah, sehingga bisa dikatakan fosfat menjadi faktor pembatas. Rasio N/P di Teluk Weda berkisar antara 3,83-37,99 dengan nilai rata-rata rasio yaitu 14,3. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan rasio N/P di Utara Laut China Selatan (NSCS) yaitu 14,1 (Han *et al.*, 2012) dan lebih kecil di Perairan Tambelan dan Serasan yaitu 11,3-133,7 (Prayitno dan Suherman, 2013). Rasio N/P yang mendekati 16:1 akan meningkatkan efektivitas fitoplankton bersilikat untuk mengkonsumsi silikat, sehingga akan mengakibatkan silikat menjadi rendah (Zhang *et al.*, 2006; Prayitno dan Suherman, 2013).

Rasio N/Si umumnya hampir sama dikarenakan perbandingan keduanya mendekati 1 (N/Si = 16:15). Berdasarkan Gambar 7B, rasio N/Si berkisar antara 0,12-10,98. Rasio tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan Koike *et al.* (2001) di Gulf Alaska (1,8-2,0). Dari gambar tersebut, N/Si bisa dibagi menjadi 3 kelompok yaitu rasio yang rendah (menjauhi garis regresi) dimana rasio ini mendominasi (<1:1), rasio yang mendekati garis regresi (=1:1) dan ada pula rasio yang tinggi/menjauhi garis garis (>1:1). Rasio N/Si yang mendekati garis regresi umumnya ditemui pada lapisan bawah termoklin (*subsurface*) dimana terjadi pelarutan *biogenic silica* atau regenerasi partikel yang mengandung Si(OH)<sub>4</sub> pada lapisan ini (Koike *et al.*, 2001; Han *et al.*, 2012). Pada daerah tersebut, regenerasi silikat lebih tinggi/cepat dibandingkan dengan regenerasi nitrogen (Han *et al.*, 2012). Rasio dibawah garis regresi menunjukkan pemanfaatan silikat terutama oleh diatom terutama radiolaria (*biological uptake*). Rasio ini akan terlihat jelas pada daerah muara sungai besar (*river plume*) dimana membawa nutrisi dari daratan menuju laut lepas (Han *et al.*, 2012).

Rasio N/Si diatas garis regresi (>1:1) mengindikasikan adanya keterbatasan silikat di Teluk Weda, sedangkan rasio dibawah 1 (<1) mengindikasikan terbatasnya nitrat di Teluk Weda. Idealnya suatu perairan memiliki rasio N/Si 1:1 (Gilpin *et al.*, 2004). Untuk Teluk Weda, ketersediaan silikat akan mempengaruhi rasio N/Si. Karena sungai yang bermuara dilokasi penelitian sangat kecil, sehingga masukan dari atmosfer (deposisi atmosfer) menjadi faktor utama dalam menyuplai silikat ke Teluk Weda.

Silikat bisa menjadi faktor pembatas bagi pertumbuhan fitoplankton, walaupun peran tersebut masih ditentukan oleh nutrisi utama yaitu nitrogen dan fosfor. Semakin mendekati rasio *Redfield* (16:1), maka konsentrasi silikat akan semakin kecil (Zhang *et al.*, 2006). Jika dilihat Gambar 7C, rasio N/P cenderung mengumpul pada rasio 16 walaupun ada juga rasio yang melebihi N/P >16 dan N/P<14,3 (rata-rata N/P di Teluk Weda). Jika diterapkan asumsi Zhang *et al.*, (2006) bahwa saat rasio N/P mendekati rasio *Redfield* (N/P= 16) maka konsentrasi silikat akan rendah. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rasio yang paling mendekati rasio *Redfield* adalah 16,08 dengan konsentrasi silikat 0,25 µg at/l. Saat konsentrasi silikat rendah (0,27 µg at/l; 0,30 µg at/l; 0,52 µg at/l), rasio N/P di Teluk Weda hanya 13,95; 14,70; 15,15. Bisa dikatakan konsep Zhang *et al.*, (2006) ditemukan di Teluk Weda, namun tidak selalu pasti tepat nilai N/P=16. Hal yang sama juga ditemukan di Perairan Tambelan dan Serasan disaat konsentrasi silikat rendah tidak ditemukan saat rasio N/P=16 melainkan 13,1. Nilai rasio N/P yang mendekati rasio *Redfield* hanya 15 (Prayitno dan Suherman, 2013). Jika melihat konsentrasi silikat di Teluk Weda, bisa dikatakan konsentrasinya rendah. Sumber utama silikat sendiri berasal dari aktivitas pelapukan batuan (*weathering*) dan menuju pesisir melalui sungai (Papush dan Danielsson, 2006). Teluk Weda sendiri tidak memiliki banyak sungai besar dimana melalui sungai tersebut akan membawa nutrisi. Hal ini mengindikasikan bah-



Gambar 7. Rasio nitrat dan fosfat (N/P) (A) nitrat dan silikat (N/Si) (B) dan hubungan antara konsentrasi silikat dengan rasio N/P (C) di Teluk Weda, Maluku Utara.

wa silikat di Teluk Weda cenderung kecil dan diduga konsentrasinya dipengaruhi oleh efektivitas fitoplankton dalam mengkonsumsi silikat.

### 3.7. Profil Vertikal N/P dan N/Si

Untuk melihat profil rasio N/Si terhadap kedalaman maka dilakukan perbandingan antara konsentrasi nitrat dan silikat pada stasiun 7, 8, 10, dan 15 (Gambar 8A).

Profil N/Si terhadap kedalaman memperlihatkan rendah dipermukaan kemudian tinggi pada kedalaman ~200 m dengan rasio N/Si maksimum ~6 (6:1). Rasio N/Si di Teluk Weda lebih tinggi dibandingkan dengan hasil eksperimen skala laboratorium oleh Gilpin *et al.* (2004) yaitu 4:1.

Berdasarkan rasio tersebut dapat dilihat bahwa nitrat masih menjadi nutrisi dominan di Teluk Weda dimana konsentrasi

tinggi pada lapisan termoklin (~200 m), kemudian cenderung rendah namun konstan pada lapisan dalam (*deep layer*). Pada lapisan tercampur (*mixed layer*), rasio N/Si cenderung rendah dan diduga terjadi pemanfaatan untuk aktivitas biologi (*biological uptake*). Silikat sendiri merupakan nutrisi penting yang dibutuhkan diatom dalam pertumbuhannya (Giplin *et al.*, 2004).

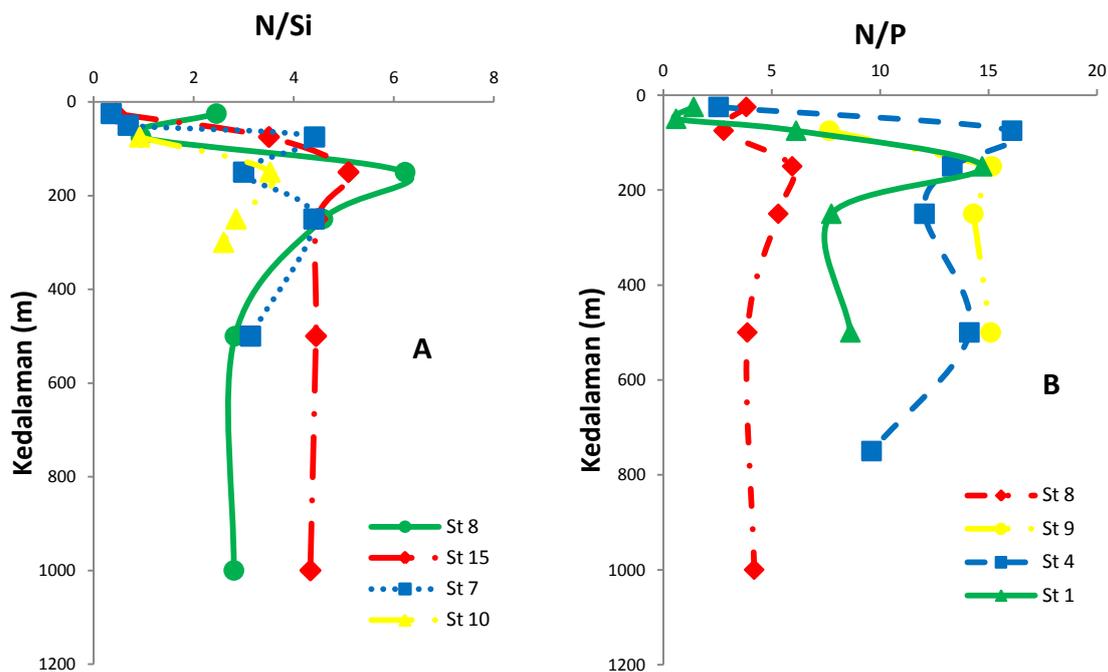
Walaupun rasio N/Si pada kedalaman 200 m tinggi, namun silikat masih menjadi faktor pembatas bagi pertumbuhan diatom. Perubahan faktor pembatas baik nitrat maupun silikat yang menjadi pembatas akan mempengaruhi jumlah (jumlah sel dan biomassa) dan kualitas (komposisi biomassa) populasi diatom (Davidson dan Gurney, 1999). Selain faktor kimiawi, faktor fisis perairan juga mempengaruhi rasio N/Si. Sebagai contoh bisa dilihat pada stasiun 8 (Gambar 8A). Sebaran vertikal nitrat dan silikat pada lapisan permukaan keduanya memiliki konsentrasi cenderung rendah. Namun jika dilihat berdasarkan salinitas dan karakteristik massa air (Gambar 3A dan 4B), maka keduanya cenderung meningkat saat salinitas tinggi. Proses regenerasi nitrat dan silikat diduga terjadi pada lapisan ini walaupun Eneksson (1986) menemukan proses nitrifikasi di Laut Baltik tinggi dibawah lapisan haloklin. Rasio N/Si juga bisa digunakan untuk memprediksi dominasi diatom suatu perairan dimana nilai rasio N/Si melebihi 25. (Sommer, 1994; Prayitno dan Suherman, 2013), namun dalam tulisan ini tidak dibahas mengenai sebaran vertikal diatom sehingga tidak diketahui spesies diatom yang dominan di Teluk Weda.

Untuk melihat *biouptake* nutrisi terhadap kedalaman maka dibuat profil rasio N/P pada stasiun 1, 4, 8, dan 9 (Gambar 8B). Berdasarkan gambar tersebut, dapat dilihat bahwa rasio N/P rendah pada permukaan (kedalaman ~25m) kemudian tinggi pada lapisan kedalaman 100-200 m. Rasio N/P di Teluk Weda yang ideal adalah 16 (*Redfield ratio*) ditemukan pada kedalaman ~100 m

stasiun 4. Umumnya rasio N/P pada kedalaman lebih dari 300 m cenderung konstan dengan rasio lebih kecil dari 16. Secara umum rasio N/P pada kedalaman 25 m dan 100-200 m berkisar antara 0,6-3,4 dan 13,3-16. Hasil perbandingan rasio ini memperlihatkan bahwa pada lapisan permukaan pemanfaatan nitrat dan fosfat tinggi sehingga rasio yang didapatkan rendah. Hal yang sama juga dengan silikat dimana rasio antara nitrat dengan silikat juga rendah. Namun pada kedalaman 200 m konsentrasi nitrat, fosfat, dan silikat mengalami peningkatan yang disebabkan oleh adanya regenerasi dan rasio stoikiometri dalam tubuh organisme (Redfield, 1963; Riley and Chester, 1971). Rasio stoikiometri dalam tubuh organisme tersebut mengindikasikan bahwa organisme laut mampu mengontrol konsentrasi dan distribusi kedua nutrisi di laut (Redfield, 1934). Nilai rasio N/P tinggi saat rasio N/Si juga tinggi (Gambar 8). Hal ini disebabkan oleh konsumsi silikat oleh diatom sangat efektif saat rasio N/P mendekati rasio Redfield (Zhang *et al.*, 2006). Dengan demikian rasio N/P sangat berkontribusi terhadap variabilitas konsentrasi silikat di suatu perairan (Prayitno dan Suherman, 2013).

### 3.8. Implikasi Proses Fisik dan Kimia Terhadap Profil Nutrien

Beberapa parameter oseanografi seperti suhu, salinitas, oksigen terlarut (DO), dan nutrisi umumnya diukur untuk mengetahui perannya dalam proses biogeokimia di laut. Terjadi perbedaan suhu yang mengakibatkan adanya perbedaan densitas antara lapisan tercampur dengan lapisan dalam. Pada lapisan tercampur, suhu pada lapisan ini seragam. Hal ini disebabkan oleh pengaruh angin yang berhembus pada lapisan atas (*upper ocean*) dan tercampur sehingga suhu dan salinitas menjadi seragam (Stewart, 2005). Pada lapisan tercampur, nilai densitas pada lapisan ini rendah. Pada lapisan dalam, suhu umumnya rendah dan menyebabkan densitas pada lapisan ini menjadi tinggi.



Gambar 8. Profil distribusi N/Si (A) dan N/P (B) di Teluk Weda, Maluku Utara.

Perbedaan densitas tersebut akan menyebabkan terjadinya perubahan suhu yang menurun secara tajam atau sering dikenal dengan istilah termoklin (Stewart, 2005). Untuk nutrien, efek yang akan terjadi adalah terbentuknya profil vertikal beberapa unsur khususnya dilapisan termoklin. Beberapa unsur ada yang tinggi konsentrasinya di lapisan termoklin, adapula yang rendah (Libes, 1992).

Jika dilihat berdasarkan Gambar 8, nutrien seperti nitrat, fosfat dan silikat mengalami persebaran akibat dari proses fisik. Proses fisik dilaut dalam umumnya akan membentuk 3 lapisan yaitu lapisan permukaan, lapisan termoklin dan lapisan dalam. Berbedanya konsentrasi nutrien pada ketiga lapisan di kolom air lebih disebabkan oleh sumber dan pemanfaatan nutrien. Pada lapisan tercampur, fitoplankton memanfaatkan ketiga nutrien tersebut, sehingga pada lapisan ini nutrien memiliki konsentrasi yang rendah. Hal yang berbeda dengan lapisan termoklin dimana terjadi regenerasi biomassa (sebagian terurai dan sebagian lagi terendapkan) yang kemudian banyak terakumulasi di lapisan termoklin. Proses penguraian atau regenerasi

terhadap biomassa menimbulkan regenerasi unsur hara, sehingga konsentrasi ketiga nutrien meningkat. Pada lapisan dalam, pemanfaatan ketiga nutrien cenderung berkurang sehingga konsentrasi cenderung tinggi dan stabil. Proses fisik seperti *upwelling* ataupun *vertical mixing* akan membawa massa air dari lapisan dalam menuju ke permukaan, sehingga akan menjadi sebuah siklus nutrien. Profil nutrien di Teluk Weda adalah rendah dipermukaan dan akan meningkat di lapisan termoklin. Profil tersebut umumnya sama dengan profil di laut dalam lainnya seperti di Atlantik utara dan Pasifik Utara (Chester, 1993), Atlantik dan Pasifik (Millero and Sohn, 1992) dan Laut Banda (Hamzah, 2006).

#### IV. KESIMPULAN

Perbedaan suhu mengakibatkan adanya perbedaan densitas antara lapisan tercampur dengan lapisan dalam menyebabkan terbentuknya lapisan termoklin. Perbedaan tersebut secara tidak langsung berpengaruh terhadap proses geokimiawi nutrien di Teluk Weda. Massa air ditemukan di Teluk Weda

adalah WNPO. Selain itu, WNPO di Teluk Weda dipengaruhi oleh SSLW sehingga menjadikan nilai salinitas tinggi (~35). Massa WNPO dapat diketahui keberadaannya di Teluk Weda pada kedalaman 130-300 m. Proses geokimiawi nutrien di Teluk Weda pada musim peralihan adalah pada lapisan tercampur, nutrien dimanfaatkan sehingga rasio N/P dan N/Si rendah ( $N/P < 5$ ;  $N/Si < 2$ ). Lain halnya pada lapisan termoklin dimana proses regenerasi terjadi sehingga konsentrasi nutrien pada lapisan ini meningkat (rasio  $N/P = 16,08$ ;  $N/Si = 6$ ). Untuk lapisan dalam, terjadi proses remineralisasi sehingga menjaga ketersediaan nutrien. Adanya pemanfaatan dan regenerasi nutrien di setiap lapisan kedalaman, maka terbentuklah pola distribusi nutrien seperti nitrat, fosfat, dan silikat adalah pada lapisan permukaan konsentrasinya menurun dan konsentrasinya bertambah seiring dengan bertambahnya kedalaman.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Laut Dalam, LIPI Ambon khususnya Bapak Abdul Basit yang telah mengizinkan penulis mengikuti kegiatan ekspedisi Teluk Weda. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Bapak Abdul Malik yang telah membantu analisa nutrien dan seluruh *crew* kapal riset Baruna Jaya VII yang telah membantu dalam pengambilan sampel selama di lapangan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Atmadipoera, A., Kuroda, J. I. Pariwono, and A. Purwandani. 2004. Water mass variation in the upperlayer of the Halmahera eddyregion observed from a TRITON buoy. *MTS/IEEE Techno. Ocean*, 3:1496-1503.
- Basit, A. dan M. R. Putri. 2013. Water mass characteristics of Weda bay, Halmahera Island, North Maluku. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan*, 5(2):365-376.
- Brzezinski, M.A. 1985. The Si-C-N ratio of marine diatoms inter specific variability and the effect of some environmental variables. *J. Phycol*, 21:347-357.
- Chester, R. 1993. Marine geochemistry. Unwin Hyman. London. 698p.
- Conley, D. J., Schelske, C. L. and Stoermer, E. F. (1993). Modification of the biogeochemical cycle of silica with eutrophication *Marine Ecology progress Series*, 101:179-192.
- Davidson, K. and W.S.C. Gurney. 1999. An investigation of non steady state algal growth II. Mathematical modelling of co-nutrient limited algal growth. *J. Plankton Res*, 21:839-858.
- Eneksson, V. 1986. Nitrification rates in the Baltic Sea: comparison of three isotope techniques. *Appl. Environ Microbiol*, 51(2):244-250.
- Gilpin, L.C., K. Davidson, and E. Roberts. 2004. The influence of changes in nitrogen: silicon ratios on diatom growth dynamics. *J. of Sea Research*, 51:21-35.
- Gordon, A.L., J. Sprintall., H.M. van Aken., R.D. Susanto., S. Wijffels., R. Molcard., A. Ffield. W. Pranowo, and S. Wirasantosa. 2010. The Indonesian through flow during 2004–2006 as observed by the INSTANT program. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 50:115-128.
- Hamzah, F. 2006. Pola sebaran menegak konsentrasi Cd, Pb, Cu, dan Zn Terlarut di Perairan Laut Banda. Skripsi. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Bogor. 59hlm.
- Han. A., M.H., Dai, S.J. Kao., J. Gan., Q. Li., L.Wang., W. Zhai, and L. Wang. 2012. Nutrient dynamics and biological consumption in a large a continental shelf system under the influ-

- ence of both a river and coastal upwelling. *Limnol. Oceanogr.*, 57(2): 486-502.
- Hutagalung, H.P., D. Setiapermana, dan S.H. Riyono. 1997. Metode analisis air laut, sedimen dan biota. Buku kedua. P3O-LIPI, Jakarta. 75-79 hlm.
- Koike, I., H. Ogawa., T. Nagata., R. Fukuda and H. Fukuda. 2001. Silicate to nitrate ratio of upper sub Arctic-Pacific and the bering seas basin in summer: its implication for phytoplankton dynamics. *J. of Oceano-graphy*, 57:253-260.
- Law, C.S., E.R. Abraham, A.J. Watson, and M.I. Liddicoat. 2003. Vertical eddy diffusion and nutrient supply to the surface mixed layer of the Antarctic Circumpolar Current, *J. Geophys. Res.*, 108(C8), 3272.
- Libes, S.M. 1992. An introduction to marine biogeochemistry. John Wiley and Sons, Inc. New York. 734p.
- Martiny, A.C., C.T.A. Pham., F.W. Primeau., J.A. Vugt., J.K. Moore., S.A. Levin., and M.W. Lomas. 2013. Strong latitudinal patterns in the elemental ratios of marine plankton and organic matter. *Nature Geoscience*, 6:279-283.
- Millero, F.J. 2006. Chemical oceanography. Third edition. Taylor and Francis Group. CRC Press. New York. 530p.
- Millero, F.J. dan M.L. Sohn. 1992. *Chemical oceanography*. CRC Press Inc. Boca Raton. Ann Arbor. USA. 531p.
- Mills, M.M. and K.R. Arrigo. 2010. Magnitude of oceanic nitrogen fixation influenced by the nutrient uptake ratio of phytoplankton. *Nature Geoscience*, 3:412-416.
- Nelson, D.M., P. Treguer, and B. Queguiner. 1995. Production and dissolution of biogenic silica in the ocean: revised global estimates, comparison with regional data and relationship to biogenic sedimentation. *Global Biogeochem. Cycles*, 9:359-372.
- Papush, L. and A. Danielsson. 2006. Silicon in the marine environment: dissolved silica trends in the Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 67:53-66.
- Planavsky, N.J. 2014. The elements of marine life. *Nature Geoscience*, 7: 855-856.
- Prayitno, H.B. dan Suherman. 2013. Hubungan antara rasio N/P dan konsentrasi silikat di Perairan Kepulauan Tambelan dan Kepulauan Serasan. *J. Segara*. 8(1):19-26.
- Radjawane, I.M. dan P.P. Poetranto. 2014. Karakteristik massa air di percabangan arus lintas Indonesia perairan Sangihe Talaud menggunakan data index satel 2010. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 6(2): 525-536.
- Riley, J.P. dan R. Chester. 1971. Introduction to marine chemistry. Academic Prees. London. 465p.
- Redfield, A.C. 1934. On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton, In James Johnstone Memorial Volume. Univ. Liverpool. 176-192pp.
- Redfield, A.C. 1963. The influence of organisme on the composition of seawater. In: Hill, M.N. (ed.), *The Sea*, Vol. II. John Wiley, New York, 26-77pp.
- Schlitzer, R. 2014. Ocean data view. <http://odv.awi.de>. (Retrieved on 30 Juli 2014)
- Sommer, U. 1994. Are marine diatom favoured by high Si:N ratios?. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 115:309-315.
- Stewart, R.H. 2008. Introduction to physical oceanography. Department of Oceanography, Texas A and M University 353p.
- Teng, Y.C., F.W. Primeau, J.K. Moore, M.W. Lomas, and A.C. Martiniy. 2014. Global-scale variations of the ratios of carbon to phosphorus in exported marine organic matter. *Nature Geoscience*, 7:895-898.

- Uchiyama, Y., K. Nadaoka, P. Rolke, K. Adachi, dan H. Yagi. 2000. Submarine groundwater discharge into the sea and associated nutrient transport in a sandy beach. *Water Resour. Res.*, 36:1467-1479.
- Wyrki, K. 1961. Physical oceanography of southeast Asian waters, Naga Report, Vol.2. The University of California, Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California. 195pp.
- Zektser, I.S., L.G. Everett, dan R.G. Dzhamalov. 2007. Submarine Discharge. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. 466p.
- Zhang, J., M.S. Liu, Y. Wu, H.X. Qi, S.G. Zhang, and X.R. Li. 2006. Dissolved silica in the Changjiang (Yangtze River) and adjacent coastal waters of the East China Sea. *In: Ittekkot, V., D. Unger, C. Humborg, and N.T. An (eds.) The Silicon Cycle.* Washington, Island Press.71-80pp.

*Diterima* : 4 Juli 2014  
*Direview* : 27 Oktober 2014  
*Disetujui* : 2 Agustus 2015

