

# **KARAKTERISTIK SEDIMEN PALUNG LAUT SULAWESI (SUMUR STA12) BERDASARKAN HASIL PENGAMATAN MEGASKOPIS DAN SIFAT FISIKA DARI PENGUKURAN *MULTI-SENSOR CORE LOGGER* (MSCL)**

## ***Sediment Characteristics of Sulawesi Sea Trench (Core STA12) Based on Megascopic Observation and Physical Properties Measurement of Multi-Sensor Core Logger (MSCL)***

**Marfasran Hendrizon<sup>1</sup>, Rina Zuraida<sup>2</sup> dan Sri Yudawati Cahyarini<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI

<sup>2</sup>Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan

**ABSTRAK** Karakteristik sedimen dan sifat fisika pada sumur STA12 (120°06.555' BT, 02°00.911' LU, kedalaman air laut 4820 m) di palung Laut Sulawesi telah dianalisis. Pengukuran sifat fisik sedimen dilakukan menggunakan *Multi-Sensor Logger* (MSCL) untuk mengidentifikasi sifat kemagnetan, perubahan warna, cepat rambat gelombang, dan unsur kimia. Tujuan penelitian ini adalah untuk memahami proses pengendapan sedimen di Laut Sulawesi. Sedimen yang berwarna lebih gelap pada kedalaman 70-100 cm dan 135-195 cm diselingi oleh sedimen berwarna lebih cerah diantara sedimen yang lebih gelap tersebut; sifat fisiknya mengindikasikan nilai  $L^*$  yang rendah, sifat kemagnetan yang cenderung tinggi, rasio normalisasi (K/Ca) yang rendah, dan kecepatan transmisi gelombang P yang tinggi; serta keberadaan unsur darat rendah pada sedimen yang berwarna lebih gelap. Sebaliknya, sedimen yang lebih cerah memiliki karakter sedimen dan sifat fisik yang bertolak belakang dibandingkan sedimen lebih gelap. Pengendapan sedimen yang lebih gelap kemungkinan terkait sedimentasi pada saat musim timur, dimana hujan sangat kecil terjadi di wilayah Kalimantan dan Filipina, sedangkan sedimen yang lebih cerah diendapkan

pada saat musim barat dengan intensitas hujan yang tinggi. Karakteristik sedimen pada sumur STA12 ini diduga berhubungan dengan pasokan input terrestrial dari wilayah Kalimantan dan Filipina. Selain itu, intensitas Arlindo (Arus Lintas Indonesia) yang melewati sumur STA12 kemungkinan juga mempengaruhi karakteristik sedimen di wilayah ini.

**Kata Kunci:** Sifat fisik, Laut Sulawesi, pasokan darat, Arus Lintas Indonesia, musim, Metode MSCL.

**ABSTRACT** *The sediment characteristics and the physical properties of core STA12 (120°06.555' E, 02°00.911' N, water depth 4820 m) in the Sulawesi Sea trench had been analyzed. The physical properties analysis in this core is performed by Multi-Sensor Core Logger (MSCL) to identify magnetic susceptibility, color change, P-Wave velocity, and chemical elements. The aim of this research is to understand deep sea sediment process in the Sulawesi Sea. The darker sediments occurred at the depth of 70-100 cm and 135-195 cm are alternated by some brighter sediment in between their darker sediments; The physical properties indicate low  $L^*$  value, high magnetic susceptibility, low normalized ratio of (K/Ca), and high P-wave velocity; lower terrestrial input also shown in the darker sediments. In contrast, the brighter sediments show the opposite signals of sediment characteristics and physical properties compare to the darker sediments. The darker sediments were probably deposited in the period of southwest monsoon, when minimum rainfall occurred at Kalimantan and Philippines. In*

---

Naskah masuk : 11 Februari 2016  
Naskah direvisi : 26 April 2016  
Naskah diterima : 28 April 2016

---

Marfasran Hendrizon  
Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI  
Komplek LIPI, Jl. Sangkuriang, Bandung 40135  
E-mail : m\_hendrizon@yahoo.com

*contrast, the other sediments are deposited during Northwest monsoon with maximum rainfall occurred. The sediment characteristics of core STA12 are probably related to the amount of terrestrial input from Kalimantan and Philippines. In the other hand, the Indonesian throughflow (ITF) that passed the location core STA12 may influence the sediment characteristic in this area.*

**Keywords:** *physical properties, Sulawesi Sea, terrestrial input, Indonesian Throughflow, monsoon, MSCL methods.*

## PENDAHULUAN

Pemanasan global sangat berperan terhadap kenaikan suhu permukaan laut di wilayah kolam panas Indo-Pasifik. Dampak yang ditimbulkan oleh kenaikan suhu permukaan laut ini menyebabkan semakin intensifnya El Nino dan kekeringan berkepanjangan di sebagian besar Indonesia (Linsley et al., 2010). Berbagai arsip iklim seperti lingkaran pohon, koral, sedimen laut, sedimen danau dan stalakmit telah dikembangkan saat ini untuk merekam suhu dan salinitas di berbagai daerah. Namun, masing-masing arsip iklim yang tersedia tersebut masih memiliki kelemahan. Arsip iklim dari sedimen laut saat ini masih sangat dipercaya mampu memperoleh data suhu dan salinitas dari arsip yang memiliki umur yang relatif tua hingga umur Paleosen Akhir di tropis (Zachos et al., 1994) meskipun resolusi yang dihasilkan masih rendah.

Arsip iklim yang sangat menarik yaitu variabilitas hujan di wilayah Indonesia Tengah pada periode glasial terakhir hingga Holosen (Partin et al., 2007; Carolin et al., 2013; Griffiths et al., 2009; Mohtadi et al., 2011) masih menjadi perdebatan. Intensitas hujan yang terekam dari rekonstruksi salinitas di wilayah Flores (Griffiths et al., 2009) menunjukkan kondisi basah pada periode glasial terakhir masih harus dipertegas dari data lain di wilayah Indonesia Tengah sedangkan daerah lain seperti Kalimantan (Partin et al., 2007) dan selatan Jawa (Mohtadi et al., 2011) memperlihatkan kondisi kering. Perubahan mengenai salinitas tersebut dapat terekam dalam percontohan sedimen laut sebagai salah satu arsip iklim. Oleh karena itu, pemahaman karakteristik sedimen laut akan memberikan informasi mengenai kondisi pengendapan sedimen tersebut dan juga mekanisme pengontrol proses sedimentasi yang terjadi di masa lampau.

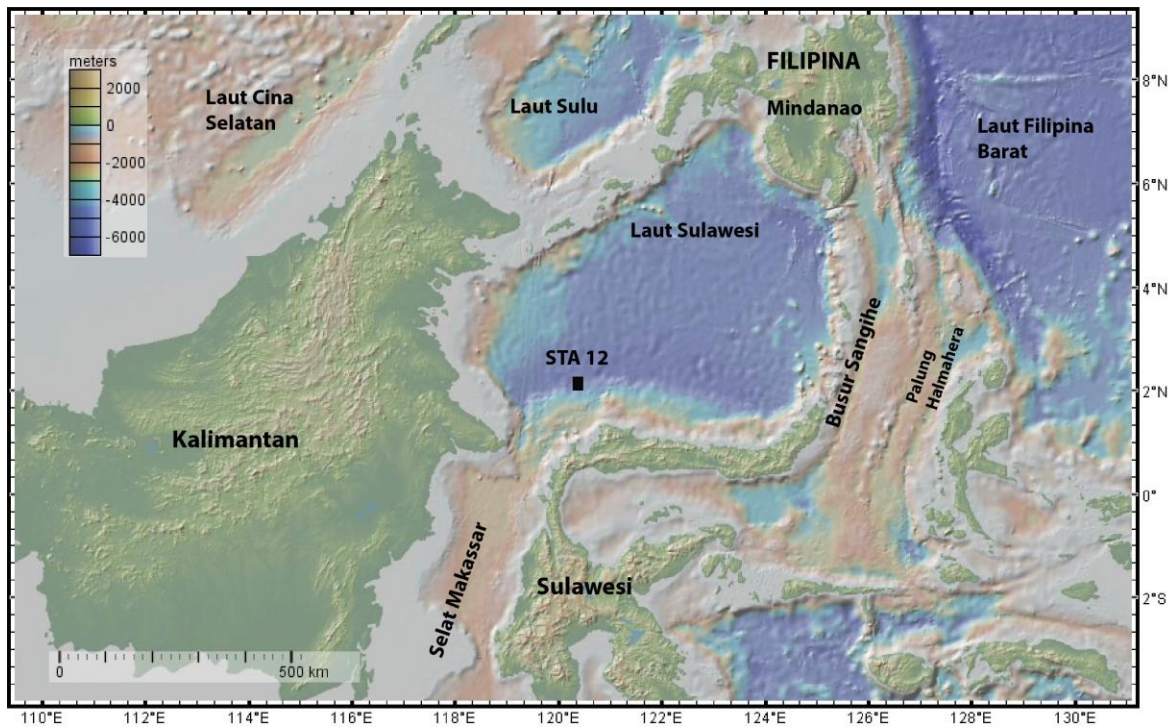
Studi sebelumnya di wilayah Laut Sulawesi (Bolliet et al., 2011; Fraser et al., 2014) mengenai kondisi laut mengungkap bahwa suhu permukaan laut di wilayah Mindanao sangat dipengaruhi oleh pola iklim regional seperti variabilitas *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) atau migrasi dari pertemuan angin di daerah tropis yang membawa masa air tertentu yang berasal dari utara dan selatan, atau lebih dikenal *Intertropical Convergence Zone* (ITCZ). Hal ini berdampak pada intensitas hujan yang hadir di wilayah tropis. Selain itu, kondisi nutrisi di wilayah Laut Sulawesi juga sangat dipengaruhi oleh keberadaan Arlindo meskipun masih belum jelas penyebab pengayaan nutrisi ini berhubungan dengan kondisi pencampuran masa air karena Arlindo atau produktifitas yang disebabkan oleh peningkatan limpasan yang membawa nutrisi dari darat (Bolliet et al., 2011).

Dalam studi ini digunakan inti bor sedimen Sumur STA12 (120°06,555' BT, 02°00,911' LU, kedalaman air laut 4820 m) yang diperoleh dari hasil pelayaran kapal riset Baruna Jaya 8 pada tahun 2014 yang bertempat di palung Laut Sulawesi (Gambar 1). Lokasi palung Laut Sulawesi ini merupakan palung laut yang memiliki kedalaman laut sangat dalam dengan kedalaman antara 5000-6000 di bagian abisal (Nichols & Hall, 1999). Hal ini menjadi menarik karena percontohan inti bor sedimen laut yang diambil dari lokasi ini akan memberikan informasi menarik mengenai sumber sedimen yang terbawa hingga kedalaman laut paling dalam. Oleh karena itu perlu adanya suatu metode untuk mengetahui karakter sedimen yang diendapkan pada palung Laut Sulawesi ini.

Studi ini bertujuan untuk mengetahui mekanisme pengendapan sedimen laut dalam berdasarkan pengamatan megaskopis, pengukuran sifat fisika dan unsur-unsur kimia yang terkandung didalam sedimen tersebut menggunakan *Multi Sensor Core Logger* (MSCL).

## LOKASI PENELITIAN

Sumur STA12 merupakan bagian dari cekungan modern Laut Sulawesi yang terletak di bagian tenggara Laut China Selatan, dibatasi oleh lengan utara Sulawesi di sebelah selatan, Pulau Mindanao di sebelah timurlaut, dan Kalimantan di sebelah barat. Laut Sulawesi dipisahkan dari Laut Filipina



Gambar 1. Lokasi stasiun pengamatan STA12. Observasi percontoh sedimen inti dilakukan pada stasiun STA12 yang ditunjukkan pada kotak berwarna hitam. Peta dasar yang dihasilkan menggunakan Geomapapp (<http://geomapapp.org>).

Barat di bagian timurlaut oleh kompleks batas lempeng meliputi Busur Sangihe, Palung Halmahera dan Filipina, serta deretan kepulauan Filipina (Gambar 2). Laut Sulawesi juga berada pada kompleks pertemuan lempeng Pasifik, Hindia, dan Filipina (Rangin & Silver, 1990).

Laut Sulawesi terbentuk pada umur Eosen Tengah (Murauchi *et al.*, 1973; Rangin & Silver, 1990; Nichols & Hall, 1999). Pembentukan Laut Sulawesi disebabkan oleh mekanisme pemekaran rantai samudra (Nichols & Hall, 1999). Tingkat pengendapan sedimen di laut Sulawesi sangat rendah berkisar antara 2-6 m/juta tahun (Nichols & Hall, 1999) pada periode Eosen Tengah hingga Miosen Tengah, dimana pasokan darat dan rombakan klastik gunungapi yang masuk ke bagian abisal sangat terbatas mulai awal 30 juta tahun yang lalu. Perubahan pola sedimentasi baru terjadi di Laut Sulawesi pada Miosen Tengah hingga Miosen Akhir ditandai oleh peningkatan pasokan darat.

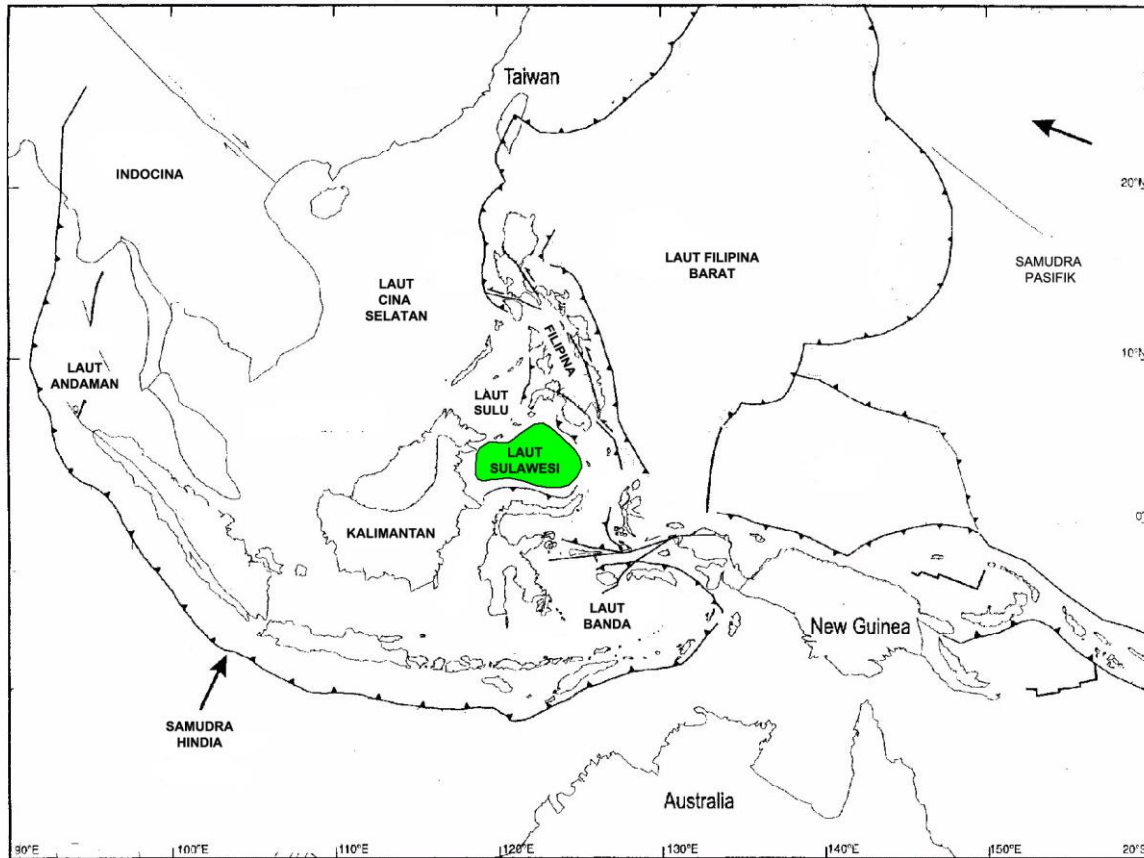
Stratigrafi di Laut Sulawesi menurut peneliti terdahulu (Nichols & Hall, 1999) dari tua ke muda berupa paket batuan berumur Eosen Tengah hingga Miosen Akhir, tersusun oleh basal yang

berumur Eosen Tengah dengan ciri afinitas *Mid Oceanic Ridge Basalt* (MORB), sedimen pelagik berumur Eosen Akhir hingga Miosen Awal mengandung radiolaria, gigi ikan, mikronodul mangan yang terendapkan di atas batuan dasar basal. Paket batuan berumur Miosen Tengah hingga Miosen Akhir tersusun oleh batulempung pelagik, batulempung hemipelagik, dan endapan turbidit silisiklastik menindih paket batuan di bawahnya. Paket batuan paling atas di Laut Sulawesi berumur Miosen Akhir hingga Holosen berupa serpih hemipelagis, batugamping, dan napal.

## METODE

Pengambilan percontoh inti bor sedimen STA12 dalam penelitian ini menggunakan penginti jatuh bebas pada pelayaran Baruna Jaya 8 (Suryantini *et al.*, 2011; Alongi *et al.*, 2012). Percontoh sedimen tersebut diberikan secara megakospis dengan melihat warna sedimen serta membandingkannya dengan bagan warna Munsell (*Munsell color chart*) serta mengidentifikasi tekstur sedimen tersebut secara keseluruhan.





Gambar 2. Tektonik modern Laut Sulawesi di wilayah Indonesia (Modifikasi dari Nichols & Hall, 1999).

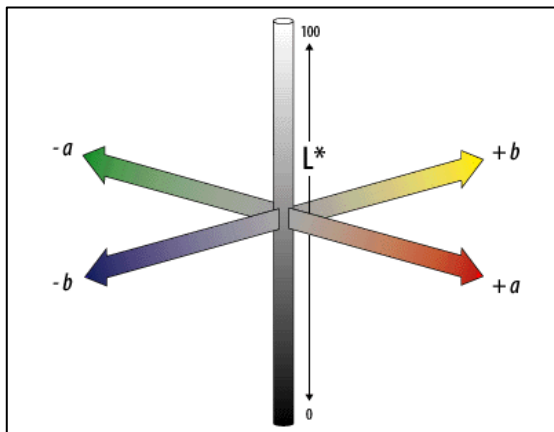
Pemerian sedimen ini merupakan tahapan awal untuk mengetahui karakter sedimen yang dijumpai pada suatu daerah. Setelah itu dilakukan pengukuran *non-destructive* atau pengukuran yang bersifat tidak merusak sedimen tersebut, meliputi sifat fisika sedimen seperti *P-Wave velocity* atau kecepatan gelombang P sebagai arsip cepat rambat gelombang dalam sedimen, *Magnetic Susceptibility (MS)* atau kerentanan magnetik untuk mengetahui sifat kemagnetan mineral yang terkandung dalam sedimen, *color reflectance* atau pantulan warna sebagai penciri perbedaan komposisi sedimen dan pemindaian XRF untuk mengetahui komposisi kimia dari sedimen sumur STA12.

Pengukuran sifat fisik sedimen seperti sifat kemagnetan, perubahan warna, cepat rambat gelombang, dan unsur kimia diukur menggunakan *Multi Sensor Core Logger (MSCL)*. Metode ini merupakan metode *non-destructive* (metode MSCL lengkap dijelaskan dalam (Weber et al., 1997). MSCL terdiri dari pengukuran *magnetic*

*susceptibility* atau kerentanan magnetik, *color spectrophotometer*, *P-Wave*, dan XRF. Pengukuran menggunakan instrumen ini dilakukan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Cirebon pada bulan Maret 2015. Pengukuran *magnetic susceptibility* atau kerentanan magnetik dilakukan dengan menggunakan sensor titik Bartington MS2E. Sensor ini menghasilkan medan magnet intensitas rendah (sekitar 80A/m RMS) melalui *oscillator circuit*. Sistem elektronik mengubah informasi pulsa frekuensi menjadi nilai *magnetic susceptibility* atau kerentanan magnetik. Pengukuran warna dilakukan dengan *color spectrophotometer* Minolta CM2600d. Prinsip kerja alat ini adalah dengan menembakkan cahaya ke atas conto yang diukur. Cahaya yang dipantulkan diterima oleh detektor yang mengumpulkannya dalam interval 10 nm antara 360 – 740 nm. Data yang didapat diproses oleh alat dan kemudian ditampilkan dalam bentuk kolom yang terdiri atas warna CIE ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), warna XYZ; merah, hijau dan biru. Data yang

ditampilkan dalam artikel ini adalah data CIE ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) yang merupakan skala warna yang menggunakan kubus untuk menentukan warna. Kubus ini terdiri atas tiga sumbu: sumbu vertikal  $L^*$  (100 = putih, 0 = hitam); sumbu X  $a^*$  (positif = merah, negatif = hijau), dan sumbu Y  $b^*$  (positif = kuning, negatif = biru) (Gambar 3).

Unsur yang terkandung dalam sedimen diukur



Gambar 3. Skala warna CIE 1976 (sumber: dba.med.sc.edu).

menggunakan *handheld* (mudah digenggam) Olympus Innov-X XRF spectrometer Delta-X. Spektrometri X-ray Fluorescence (XRF) merupakan metode *non-destructive* untuk mengukur kelimpahan unsur. Foton mengeksitasi elektron dalam sedimen yang kemudian melepaskan energy x-ray untuk setiap unsur yang mengalami perubahan. Kelimpahan unsur dihitung dengan mengukur intensitas emisi. Metode ini memberikan informasi kimia secara langsung dari permukaan percontohan inti. Unsur yang dikaji diantaranya unsur asal darat (*terrigenous*) seperti, K, Ti, Fe atau Mn (Fraser *et al.*, 2014). Unsur kimia yang didapat dari hasil pengukuran XRF ini harus dinormalisasi untuk mengurangi efek volume yang berhubungan dengan kehadiran unsur lain (Weltje & Tjallingii, 2008).

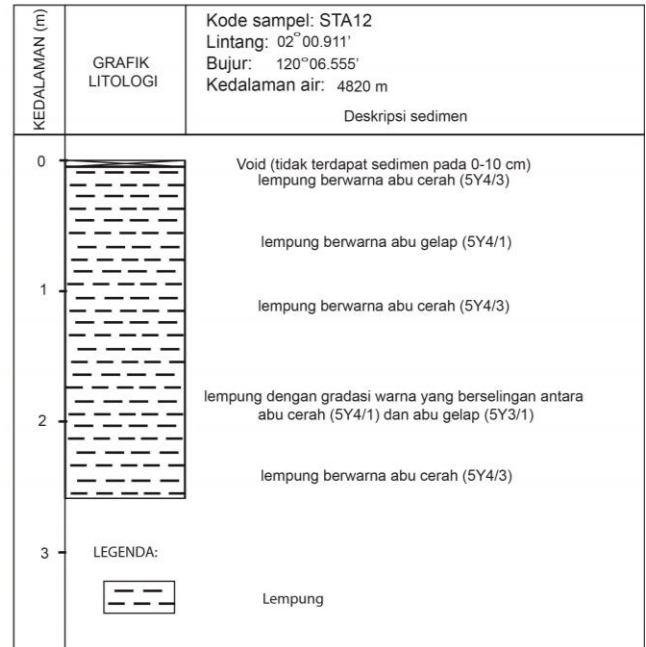
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Megaskopis

Deskripsi atau pemerian sedimen (dilihat pada Gambar 4) pada percontohan ini memperlihatkan bahwa sedimen sumur STA12 tersusun oleh lempung berwarna abu-abu. Tidak terlihat adanya

cangkang yang hadir dari bagian bawah sedimen hingga lapisan termuda di bagian atas, hal yang paling jelas dapat diamati adalah perbedaan warna yang lebih gelap pada kedalaman 70-100 cm dan gradasi perbedaan warna abu-abu gelap dan terang pada kedalaman 135-195 cm.

### Analisis sifat fisik sedimen



Gambar 4. Deskripsi atau pemerian sedimen inti STA12. Skala warna yang digunakan berdasarkan bagan warna Munsell (*Munsell color chart*).

Sedimen yang berwarna gelap memperlihatkan parameter  $L^*$  semakin rendah hingga bernilai 35 pada kedalaman 70-100 cm dan 135-195 cm, sedangkan sedimen yang berwarna abu-abu cerah menunjukkan nilai  $L^*$  yang tinggi hingga bernilai 48. Hal ini menunjukkan perbedaan warna pada interval sedimen yang lebih gelap dan sedimen lebih terang, parameter  $L^*$  yang didapat dari pengukuran *color spectrophotometer* seperti yang diterangkan dalam metode memang membandingkan warna hitam (0) dan putih (100) sehingga nilai  $L^*$  yang tinggi akan menunjukkan warna abu-abu yang lebih terang. Endapan sedimen yang lebih gelap (Gambar 5) memperlihatkan nilai kecepatan transmisi gelombang P (*P-Wave velocity*) yang tinggi dengan kisaran hingga 1960, sedangkan sedimen yang lebih terang menunjukkan nilai kecepatan transmisi gelombang P yang rendah dengan nilai

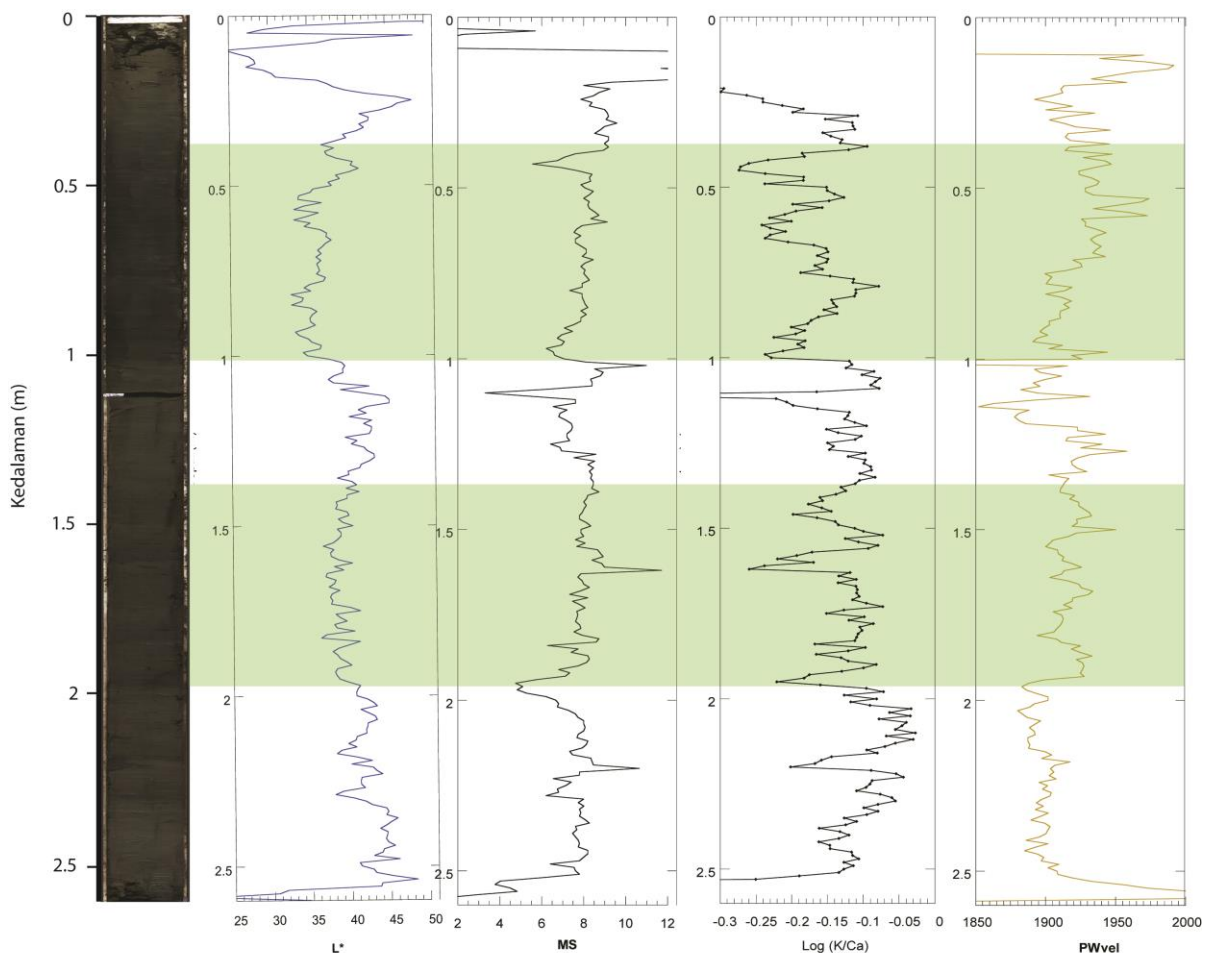
1880. Hal ini menandakan gelombang P akan dipancarkan lebih cepat pada sedimen yang lebih gelap dibandingkan sebaliknya.

Endapan sedimen yang berwarna gelap menunjukkan kecenderungan sifat kemagnetan sedimen (Gambar 5) yang relatif tinggi dengan nilai berkisar antara 7-8, sedangkan untuk sedimen yang berwarna lebih cerah memiliki karakter sebaliknya dengan nilai 4-8. Pemindaian *X-ray Fluorescence* (XRF) menunjukkan koefisien korelasi yang terbesar yaitu 0.94 terlihat pada normalisasi K dan Ca, sedangkan koefisien korelasi unsur lain seperti Ti, dan Fe bila dibandingkan dengan K ataupun Ca memiliki nilai yang lebih rendah (nilai 0.2-0.7). Hal ini menjadikan suatu penanda terdapat hubungan keselarasan terhadap kedua unsur ini. Sedimen

yang berwarna cerah cenderung memiliki rasio log (K/Ca) yang tinggi dengan kisaran -0.2 hingga -0.05, sedangkan rasio yang sebaliknya dijumpai pada sedimen yang berwarna gelap dengan kisaran -0.3 hingga -0.1.

### Karakteristik sedimen laut dalam Sumur STA12

Sumur STA12 menunjukkan karakter sedimen laut dalam berupa endapan lempung (Gambar 4). Endapan ini menandakan endapan suspensi dengan energi arus yang lemah. Hal yang menarik pada percontoh sedimen ini yaitu keterdapatn sedimen yang berwarna gelap pada kedalaman 70-100 cm dan 135-195 cm. Gambar 5 memberikan gambaran hubungan dari ciri megaskopis, sifat fisik dan kandungan kimia dari sumur STA 12. Endapan sedimen yang berwarna gelap dicirikan

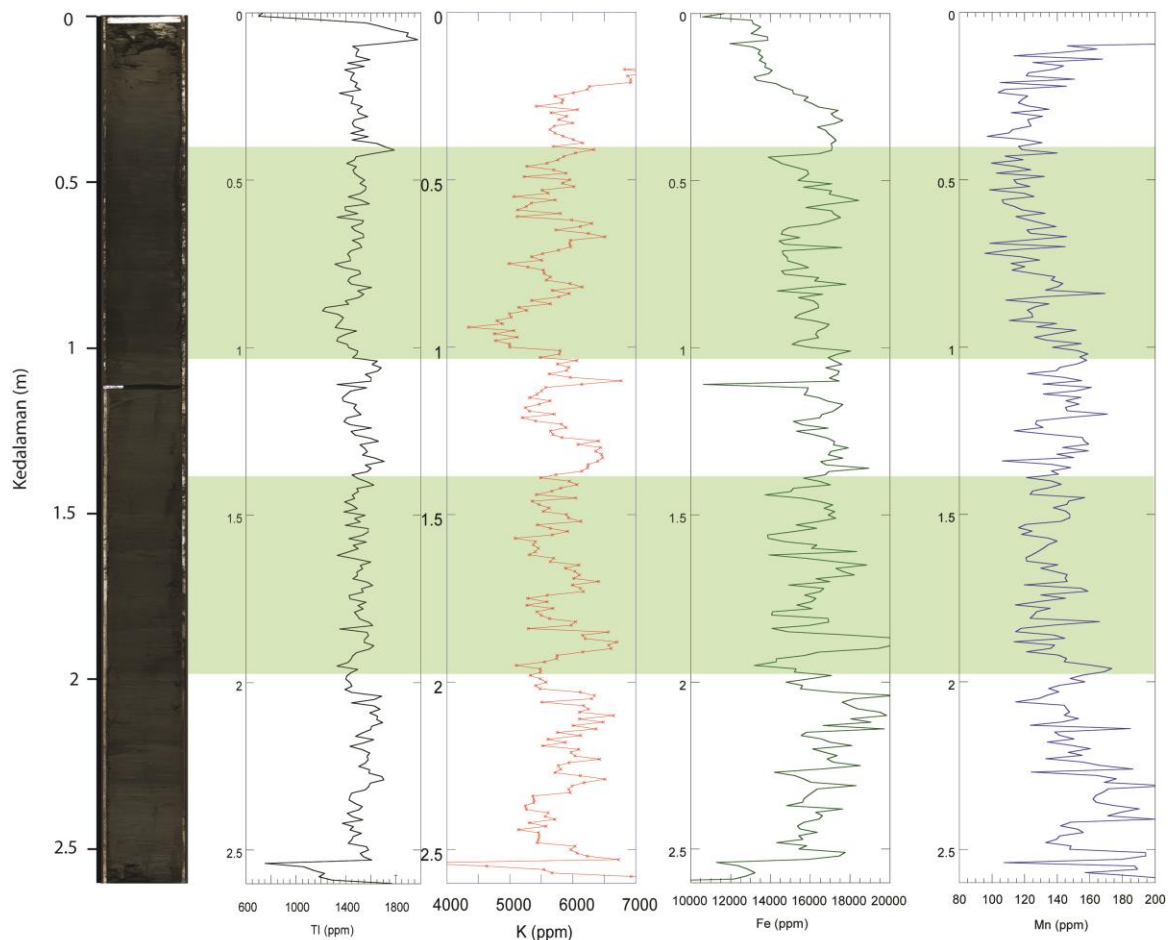


Gambar 5. Sifat fisika sedimen inti STA12. L\* merupakan pembanding warna gelap dan terang dari *color spectrophotometer*, MS yaitu *magnetic susceptibility* yang menandakan kandungan mineral magnetic pada sedimen, Log (K/Ca) adalah proxy dari sedimen darat yang masuk ke laut, sedangkan PWvel yaitu *P Wave velocity*. Blok hijau merupakan bagian sedimen yang berwarna gelap.

oleh nilai  $L^*$  yang rendah, sifat kemagnetan yang cenderung naik, rasio normalisasi (K/Ca) yang rendah, dan kecepatan transmisi gelombang yang tinggi. Hal ini diduga endapan yang berwarna gelap ini terkait dengan minimnya pasokan sedimen darat yang masuk ke dalam palung Laut Sulawesi yang diperlihatkan dari rasio normalisasi (K/Ca) yang rendah. Selain itu, gelombang P lebih cepat dipancarkan pada sedimen yang lebih gelap. Cepat rambat gelombang P ini diduga terkait densitas sedimen yang lebih tinggi pada sedimen yang lebih gelap dibandingkan sedimen yang lebih cerah. Hal ini sangat sesuai dengan studi terdahulu terkait hubungan antara densitas dan kecepatan transmisi gelombang P (Prélat *et al.*, 2015).

Gradient densitas yang berada di Laut Sulawesi umumnya dikontrol oleh salinitas (Fan *et al.*, 2013). Sedimen yang lebih gelap pada kedalaman

70-100 cm dan 135-195 cm memiliki densitas yang tinggi, menandakan salinitas juga tinggi di Laut Sulawesi. Hal ini sangat sesuai dengan rekonstruksi gradient densitas menurut studi terdahulu (Fan *et al.*, 2013). Mekanisme yang mengontrol perbedaan salinitas di Laut Sulawesi ditentukan oleh 2 hal diantaranya input air Laut Cina Selatan dengan salinitas rendah dan hujan yang disebabkan oleh aktivitas *monsoon* atau angin musim (Fan *et al.*, 2013; Oppo *et al.*, 2009). Pada musim musim timur, angin yang bertiup dari tenggara menghambat pasokan air laut dengan salinitas rendah dari Laut Cina Selatan masuk ke Laut Sulawesi dan Selat Makassar serta intensitas hujan juga berkurang pada periode musim ini. Sebaliknya pada musim barat, input air dengan salinitas rendah dari Laut Cina Selatan dapat masuk dengan mudah ke Laut Sulawesi dan Selat



Gambar 6. Unsur darat yang dijumpai pada sumur STA12. Blok hijau merupakan bagian sedimen yang berwarna gelap. Unsur darat memiliki kecenderungan menurun pada sedimen yang berwarna lebih gelap. Elemen terrestrial tersebut diukur dengan unit *part per million* (ppm).

Makassar serta intensitas hujan meningkat karena angin yang bertiup dari timurlaut membawa uap air yang basah ke wilayah Kalimantan (Gordon *et al.*, 2003) sehingga sedimen yang masuk ke Laut Sulawesi ini memiliki densitas yang rendah. Endapan yang berwarna lebih cerah (Gambar 5) memiliki karakter sedimen yang bertolak belakang dengan ciri endapan yang berwarna lebih gelap. Endapan sedimen yang berwarna cerah dicirikan oleh nilai  $L^*$  yang tinggi, sifat kemagnetan yang cenderung rendah, rasio normalisasi (K/Ca) yang tinggi, dan kecepatan transmisi gelombang yang rendah. Hal ini memperlihatkan sedimen yang berwarna lebih cerah memiliki densitas yang rendah. Densitas yang rendah ini menandakan salinitas berkurang, dimana sedimen yang lebih cerah pada sumur STA12 mendukung dugaan bahwa intensitas musim barat meningkat pada sedimen yang lebih cerah. Input air Laut Cina Selatan dengan salinitas rendah dan hujan yang disebabkan oleh aktivitas *monsoon* (Fan *et al.*, 2013; Oppo *et al.*, 2009) tentunya berperan pada sumber pasokan sedimen yang masuk ke Laut Sulawesi.

Unsur darat yang masuk ke Laut Sulawesi didominasi berasal dari Kalimantan dan Filipina (Nichols & Hall, 1999). Namun, kajian lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengetahui sumber sedimen di lokasi Sumur STA12. Sedimen dengan ciri endapan yang lebih gelap pada kedalaman 70-100 cm dan 135-195 cm ini memiliki komposisi unsur-unsur seperti Ti, Fe, K, dan Mn yang berasal dari darat (Gambar 6) menunjukkan komposisi darat cenderung menurun dalam endapan yang lebih gelap dibandingkan dengan endapan yang lebih terang. Ada kemungkinan bahwa berkurangnya pasokan darat yang terlihat dari log (K/Ca) yang dilihat dari Gambar 5 menyebabkan berkurangnya unsur darat seperti Ti, Fe, K, dan Mn (Gambar 6) di lokasi sumur STA 12. Selain itu, sumur STA 12 yang terletak pada jalur Arlindo (Gordon *et al.*, 2003) juga memungkinkan element terrestrial tersebut tertransport ke Selat Makassar (Gambar 1). Log (K/Ca) sebagai arsip dari pasokan sedimen yang masuk ke Laut Sulawesi pada sedimen lebih cerah (Gambar 5) menunjukkan peningkatan, sehingga terlihat dengan jelas peningkatan unsur darat yang hadir dalam sedimen yang lebih cerah pada sumur STA12 di Laut Sulawesi (Gambar 6). Hal ini memungkinkan sumber sedimen dari Kalimantan dan Filipina (Nichols & Hall, 1999) mengalami

peningkatan melalui sungai-sungai besar di kedua wilayah tersebut karena intensitas limpasan. Kemungkinan lain tentunya intensitas Arlindo (Gordon *et al.*, 2003) yang membawa unsur tersebut ke lokasi sumur STA12. Namun, kajian lebih lanjut masih sangat diperlukan untuk memastikan periode waktu dan perubahan salinitas yang terjadi pada sumur ini.

## KESIMPULAN

Karakter sedimen yang berlokasi di palung laut Sulawesi, sumur STA12 memperlihatkan sedimen yang berwarna lebih gelap terletak pada kedalaman 70-100 cm dan 135-195 cm yang diselingi oleh sedimen berwarna lebih cerah diantara sedimen yang lebih gelap tersebut. Sedimen yang berwarna gelap ini memiliki sifat fisik nilai  $L^*$  yang rendah, sifat kemagnetan yang cenderung tinggi, rasio normalisasi (K/Ca) yang rendah, dan kecepatan transmisi gelombang P yang tinggi. Keberadaan unsur darat seperti Ti, Fe, K, dan Mn yang cenderung rendah pada sedimen yang berwarna lebih gelap. Namun sedimen yang lebih cerah memiliki karakter sedimen sebaliknya dengan nilai  $L^*$  yang tinggi, sifat kemagnetan yang cenderung rendah, rasio normalisasi (K/Ca) yang tinggi, dan kecepatan transmisi gelombang yang rendah serta unsur darat yang mengalami peningkatan pada sedimen ini. Sedimen yang berwarna gelap diinterpretasikan sebagai berkurangnya intensitas hujan dan pasokan air laut dengan salinitas rendah masuk ke Laut Sulawesi. Namun, sedimen yang lebih cerah menandakan proses yang bertolak belakang dari sedimen yang lebih gelap. Karakteristik sedimen pada sumur STA12 ini diduga terkait minimal (maksimal) pasokan unsur darat dari wilayah Kalimantan dan Filipina. Selain itu, intensitas Arlindo yang melewati sumur STA12 juga kemungkinan mempengaruhi karakteristik sedimen di wilayah ini. Namun, kajian lebih lanjut masih sangat diperlukan untuk memastikan periode waktu dan perubahan salinitas yang terjadi pada sumur ini.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Oseanografi LIPI yang telah mendanai penelitian dalam kegiatan tematik 2014 melalui Ekspedisi Widya Nusantara (EWIN) serta Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir mendanai untuk mengukur sifat fisik sedimen di Pusat Penelitian dan Pengembangan



Geologi Kelautan, Cirebon. Penulis juga sangat berterima kasih kepada Dr. Munasri dan Andry Fauzy yang terlibat dalam diskusi dan pembuatan peta Laut Sulawesi. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Rainer Arif Troa, Eko Triarso dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir dan Nazar Nurdin dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan yang telah memfasilitasi penulis untuk melakukan analisis sifat fisik sedimen di Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Cirebon. Penulis berterima kasih kepada reviewer dan editor Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan yang telah menjadikan artikel ini layak diterbitkan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Alongi, D. M., Wirasantosa, S., Wagey, T., & Trott, L. A., 2012. Early diagenetic processes in relation to river discharge and coastal upwelling in the Aru Sea, Indonesia. *Marine Chemistry*, 140-141, 10–23. DOI: 10.1016/j.marchem.2012.06.002.
- Bolliet, T., Ann Holbourn, Wolfgang Kuhnt, Carlo Laj, C. Kissel, & Luc Beaufort, Markus Kienast, Nils Andersen, and Dieter Gorbe-Schönberg. 2011. Mindanao Dome variability over the last 160 kyr: Episodic glacial cooling of the West Pacific Warm Pool. *Paleoceanography*, 26, 1–18. DOI: 10.1029/2010PA001966.
- Carolin, S. A., Cobb, K. M., Adkins, J. F., Clark, B., Conroy, J. L., Tuen, A. A., 2013. Varied Response of Western Pacific the Hydrology to Climate Forcings over the Last Glacial Period. *Science*, 340, 1564–1566. DOI: 10.1126/science.1233797.
- Fan, W., Jian, Z., Bassinot, F., & Chu, Z., 2013. Holocene centennial-scale changes of the Indonesian and South China Sea throughflows: Evidences from the Makassar Strait. *Global and Planetary Change*, 111, 111–117. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2013.08.017.
- Fraser, N., Kuhnt, W., Holbourn, A., Bolliet, T., Andersen, N., Blanz, T., & Beaufort, L., 2014. Precipitation variability within the West Pacific Warm Pool over the past 120 ka: Evidence from the Davao Gulf, southern Philippines. *Paleoceanography*, 1–17. DOI: 10.1002/2013PA002599.
- Gordon, A. L., Claudia F. Giulivi, A. G. Ilahude. 2003. Deep topographic barriers within the Indonesian seas. *Deep-Sea Research II*, 50 (2205-2228). DOI: 10.1016/S0967-0645(03)00053-5.
- Griffiths, M. L., Drysdale, R. N., Gagan, M. K., Zhao, J., Ayliffe, L. K., & Hellstrom, J. C., 2009. Increasing Australian – Indonesian monsoon rainfall linked to early Holocene sea-level rise. *Nature Geoscience*, 2 (9), 636–639. DOI: 10.1038/ngeo605.
- Linsley, B. K., Rosenthal, Y., & Oppo, D. W., 2010. Holocene evolution of the Indonesian throughflow and the western Pacific warm pool. *Nature Geoscience*, 3, 578–583. DOI: 10.1038/ngeo920.
- Mohtadi, M., Oppo, D. W., Steinke, S., Stuut, J.-B. W., De Pol-Holz, R., Hebbeln, D., & Lückge, A., 2011. Glacial to Holocene swings of the Australian - Indonesian monsoon. *Nature Geoscience*, 4 (8), 540–544. DOI: 10.1038/ngeo1209.
- Murauchi, S., Ludwig, W. J., Asanuma, T., & Yoshii, T., 1973. Structure of the Sulu Sea and the Celebes Sea. *Journal of Geophysical Research*, 78 (17), 3437–3447.
- Nichols, G., & Hall, R., 1999. History of the Celebes Sea Basin based on its stratigraphic and sedimentological record. *Journal of Asian Earth Sciences*, 17, 47–59.
- Oppo, D. W., Rosenthal, Y., & Linsley, B. K., 2009. 2,000-year-long temperature and hydrology reconstructions from the Indo-Pacific warm pool. *Nature*, 460 (7259), 1113–1116. DOI: 10.1038/nature08233.
- Partin, J.W., Kim M. Cobb, Jess F. Adkins, B. Clark & D. P. Fernandes, 2007. Millennial-scale trends in west Pacific warm pool hydrology since the Last Glacial Maximum. *Nature*, 449, 452–456. DOI: 10.1038/nature06164
- Prélat, A., Hodgson, D. M., Hall, M., Jackson, C. A., Baunack, C., & Tveiten, B., 2015. Constraining sub-seismic deep-water

- stratal elements with electrofacies analysis: A case study from the Upper Cretaceous of the Måløy Slope, offshore Norway. *Marine and Petroleum Geology*, 59, 268–285. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2014.07.018.
- Rangin, C., & Silver, E., 1990. Geological Setting of the Celebes Sea and Sulu Seas. *Proceeding of the Ocean Drilling Program*, 124.
- Suryantini, Ismanto, A., Aji, K. I., Saputri, D. F., & Helfinalis. 2011. Marine Sediment Characteristics at Karimun Java Sea Based on Stratigraphic Profile Analysis, Total Suspended Solid (TSS) and Grain-Size Analysis (Granulometry). *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 3(1), 26–51.
- Weber, M. E., Niessen, F., Kuhn, G., & Wiedicke, M., 1997. Calibration and application of marine sedimentary physical properties using a multi-sensor core logger. *Marine Geology*, 136, 151–172.
- Weltje, G. J., & Tjallingii, R., 2008. Calibration of XRF core scanners for quantitative geochemical logging of sediment cores: Theory and application. *Earth and Planetary Science Letters*, 274 (3-4), 423–438. DOI: 10.1016/j.epsl.2008.07.054.
- Zachos, J. C., Stott, L. D., & Lohmann, K. C., 1994. Evolution of Early Cenozoic marine temperatures. *Paleoceanography*, 9, 353–387.