

KONTRIBUSI PENTARIKHAN RADIOKARBON PERCONTOH TERUMBU KARANG PADA BATUGAMPING DI PANTAI SELATAN KABUPATEN WONOGIRI, JAWA TENGAH, TERHADAP NEOTEKTONIK KUARTER

Oleh :

P. Astjario ¹⁾ dan D.A. Siregar ²⁾

¹⁾ Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan

²⁾ Laboratorium Geologi Kwartar, Pusat Survey Geologi

SARI

Wilayah pantai Ngungap, kawasan pesisir selatan Wonogiri, Jawa Tengah merupakan daerah jalur anjak dimana terumbu karang Kwartar tersingkap dari garis pantai hingga pebutukan tinggi. Enam undak laut terbentuk sejajar dengan garis pantai hingga mencapai ketinggian lebih dari 300 meter di atas muka laut.

Hasil pentarikhian Radiokarbon tiga fosil terumbu karang dari undak laut termuda yang dapat berkontribusi terhadap perhitungan proses pengangkatan kawasan pantai Ngungap. Undak laut termuda menunjukkan bahwa rata-rata aktivitas tektonik pengangkatan diwilayah pantai Ngungap, kawasan pesisir selatan Wonogiri adalah 5 mm/tahun. Pengangkatan rata-rata pesisir selatan Wonogiri jauh berbeda dengan kecepatan kawasan pantai-pantai tektonik aktif lainnya di Indonesia.

Kata kunci : anjak, terumbu karang, undak laut, pentarikhian, pantai Ngungap Jawa Tengah

ABSTRACT

The Ngungap coast of the southern coastal zone of Wonogiri, Central Jawa, situated in the central portion of the arcuate thrustbelt where Quaternary reefs show maximal elevation from coastline up to high hinterland. Six terraces have been formed parallel to the coast line and extensively exposed up to more than 300 meters above mean sea level.

Three Radiocarbon dating of coral reef derived from the lowest terraces can be contributed to the uplift calculation in the Ngungap area. The lowest terrace allows uplifting tectonic activity in the coast of Ngungap in the order of 5 mm/years. The uplift rate of southern coast of Wonogiri is different to the rate of active tectonic coastal areas in the eastern Indonesian region.

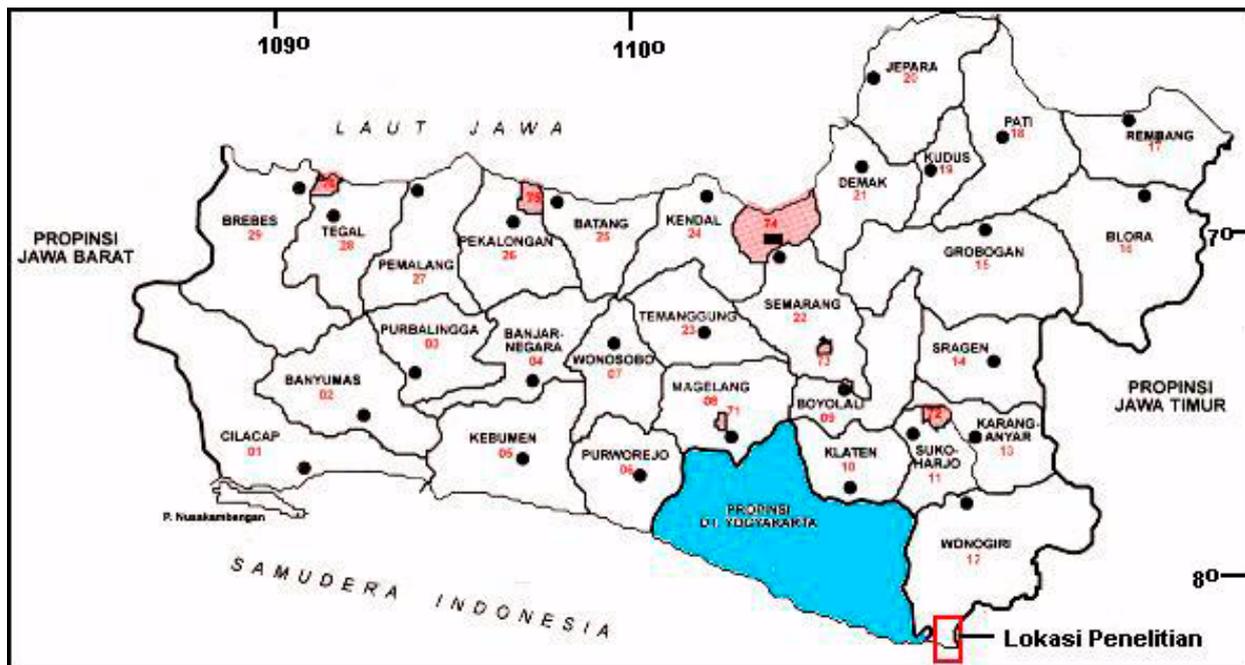
Keywords : thrustbelt, reef, terrace, dating, Ngungap coast of Central Java

PENDAHULUAN

Dalam melakukan pentarikhian Radiokarbon percontoh koral di laboratorium diperlukan akurasi pengujian yang mengacu pada standar baku. Persyaratan standar yang harus dipenuhi adalah pengadaan *Standard Reference Material* (SRM). Standar tersebut diproduksi oleh lembaga-lembaga internasional yang memiliki

kewenangan antara lain NIST, NBS, USGS, JIS dan lain-lain.

Untuk membuat *in house reference material* maka diperlukan percontoh yang diambil secara sistematis guna pentarikhian Radiokarbon. Pengambilan percontoh tersebut dilakukan di pantai Ngungap, kawasan pesisir selatan Wonogiri, Propinsi Jawa Tengah, pada singkapan batugamping terumbu yang diduga berumur



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di pantai Ngungap, kawasan pesisir selatan Wonogiri, Jawa Tengah.

Kuarter. Kawasan pantai Ngungap selain menyingkapkan batugamping terumbu, kawasan ini juga memperlihatkan morfologi undak laut yang cukup baik dengan gawirnya yang curam.

Lokasi penelitian berada pada koordinat $110^{\circ} 30' - 110^{\circ} 50'$ Bujur Timur dan $7^{\circ} 55' - 8^{\circ} 10'$ Lintang Selatan. Secara administratif, daerah penelitian termasuk kedalam wilayah Kabupaten Wonogiri, Propinsi Jawa Tengah.

Tinjauan Geologi Umum

Daerah penelitian termasuk dalam lembar Surakarta – Giritronto yang dalam rangkaian Pegunungan Selatan membujur barat-timur sepanjang pantai selatan P. Jawa. Di bagian utara daerah penelitian di jumpai daerah dataran rendah yang dikenal dengan lajur Solo (Bemmelen, 1949). Antara pegunungan Selatan dan lajur Solo terdapat pegunungan hasil penyesaran bongkah di dekat Tirtomoyo di Lembar Ponorogo. Kedua pegunungan itu di pisahkan oleh rendahan tak setangkup (*asimetry depression*) di Wuryantoro – Tirtomoyo membentuk dataran rendah, bentang alam kars (*carst*) dan lereng pegunungan.

Satuan pegunungan, umumnya membujur barat – timur terdiri dari Pegunungan Baturagung, Plopoh, Kambengan dan pejalan Panggung (Panggung masif). Satuan ini berketinggian antara 200 m dan 831 m (G. Baturagung) di atas muka laut.

Satuan perbukitan terdapat di bagian selatan Klaten (Perbukitan Jiwo), di utara Wonogiri dan di sepanjang aliran S. Oyo, bagian hulu. Pola sungainya berbentuk mendaun (*dendritic*). Di perbukitan Jiwo, satuan ini terbentuk dari batuan berumur Kapur dan Tersier (Sumosusastro, 1956). Satuan dataran rendah, terhampar luas di sepanjang lembah Bengawan Solo, berketinggian antara 80 m dan 150 m di atas muka laut. Satuan ini terberntuk dari endapan aluvium Bengawan Solo, dan merupakan kawasan pemukiman dan pertanian.

Bentang alam kars, tersebar luas di bagian selatan, mulai batas timur sampai batas barat lembar peta. Satuan ini merupakan bagian dari Gunung Sewu, yang berupa bukit-bukit kecil batugamping berbentuk kerucut.

Dolina, gua, luweng (*sink hole*), telaga dan aliran sungai bawah permukaan banyak di temukan di kawasan ini. Bekas aliran sungai sampai Samudra Hindia. Aliran sungai ini merupakan torehan Bengawan Solo, yang dahulunya mengalir ke selatan. Perubahan arah aliran ini terjadi akibat adanya pengangkatan dan sesar-sesar anjak (*thrust faults*) pada Plistosen Tengah (Bemmelen, 1949). Satuan ini terbentuk dari batugamping terumbu dan napal yang berumur Neogen.

Lereng gunung api, terhampar luas, di sudut baratlaut dan timurlaut daerah penelitian. Satuan

ini terbentuk dari batuan gunungapi asal G. Merapi dan G. Lawu. Ciri satuan ini adalah lereng yang memiliki kemiringan sekitar 10° dengan pola aliran sungai yang memancar berpusat pada puncak G. Merapi dan G. Lawu.

Batuan tertua yang tersingkap di daerah penelitian adalah batuan malihan yang di duga berumur Kapur – Paleosen Awal. Satuan ini terdiri dari sekis, pualam, batuan gunungapi malih, sedimen malih dan batu sabak. Tak selaras di atasnya terdapat Formasi Gamping Wungkal yang terdiri dari batupasir, napal pasiran, batulempung dan lensa batugamping; berumur Eosen Tengah – Eosen Akhir. Formasi Gamping Wungkal tertindih tak selaras oleh Formasi Kebo Butak yang berumur Oligosen Akhir – Miosen Awal. Bagian bawah Formasi Kebo Butak terdiri dari batupasir, batulanau, batulempung, serpih, tuf dan aglomerat. Sedangkan bagian atasnya terdiri dari perselingan antara batupasir dan lempung yang bersisipan tuf asam (Surono dr, 1992).

Di bagian tenggara tersingkap Formasi Mandalika yang berupa leleran lava dan piroklastik, setempat tampak retas; Berhubungan dengan sedimen klastika yang terpengaruh arus turbidit. Satuan ini di duga berumur Oligosen – Miosen dan dapat di korelasikan dengan bagian atas dan tengah Formasi Kebo Butak. Selaras (setempat tampak tak selaras) di atasnya tengah Formasi Kebo Butak terendapkan Formasi Semilir yang berumur Miosen Awal – Miosen Tengah. Formasi ini terdiri dari tuf, breksi, batu apung dasitan, batupasir tufaan dan serpih. Di bagian barat, Formasi Semilir tertindih selaras oleh Formasi Nglanggran yang terdiri dari breksi gunungapi, aglomerat, tuf dan lava andesit – basal. Umur formasi ini adalah Miosen Awal – Miosen Tengah.

Formasi Nglanggran di duga tertindih takselaras oleh Formasi Sambipitu dan Formasi Oyo. Formasi Sambipitu terbentuk dari batupasir dan batulempung yang berumur Miosen Tengah. Formasi Oyo terdiri dari napal tufaan, tuf andesit dan batugamping konglomeratan yang berumur Miosen Tengah – Miosen Akhir. Formasi Wonosari Punung di dominasi batugamping bersisipan batugamping napalan – tufaan, batugamping konglomeratan, batupasir tufaan dan lanau. Umur Formasi Wonosari Punung adalah Miosen Tengah –

Pliosen. Bagian atas formasi ini menjemari dengan bagian bawah Formasi Kepek. Formasi ini terdiri dari batugamping berlapis dan napal, berumur Miosen Akhir – Pliosen.

Bagian timur daerah penelitian terdapat Formasi Jaten berumur Miosen Tengah bagian bawah terdiri dari batupasir, batupasir tufaan, batulanau, lempung, napal dan batugamping napalan. Formasi ini tertindih selaras oleh Formasi Wuni yang terdiri dari aglomerat bersisipan batupasir kars. Umur Formasi Wuni di duga Miosen Tengah. Kemudian formasi ini tertindih selaras Formasi Nampol yang terdiri dari konglomerat, batupasir konglomeratan, aglomerat, batulanau, batulempung dan tuf. Umur formasi ini diduga Miosen Tengah (Sampurno dr, 1991).

Semua satuan yang telah disebut diatas tertindih tak selaras oleh Formasi Baturetno dan endapan undak sungai yang keduanya di duga berumur Plistosen. Batuan Plistosen lainnya adalah batuan gunungapi Lawu dan Merapi. Batuan termuda di daerah penelitian adalah aluvium yang menindih tak selaras batuan yang lebih tua.

Hasil interpretasi potret udara dan citra landsat menegaskan adanya kelurusan berarah timurlaut – baratdaya yang memanjang dari Wonosari ke Mojokerto. Kelurusan membagi dua sistem perlipatan, yaitu: sistem perlipatan utara (zona Rembang) berarah sumbu lipatan timurlaut – baratdaya dan sistem perlipatan selatan (zona Kendeng) dengan arah sumbu lipatan baratlaut- tenggara. Kelurusan ini diperkirakan sebagai sesar regional yang sering disebut sebagai sesar Grindulu.

Fluktuasi Muka Laut Kuartar

Perubahan muka air laut dunia dipengaruhi oleh banyak faktor, beberapa faktor penting yang menyebabkan hal tersebut terjadi antara lain, adanya pengangkatan atau penurunan kerak bumi akibat epirogenesis atau orogenesis, yang bisa disebut sebagai tektonik eustatik. Pengangkatan atau penurunan kerak bumi dapat juga terjadi akibat perubahan jumlah beban sedimentasi yang mempengaruhi dimensi cekungan atau sedimento-eustatik. Disamping itu perubahan volume air laut yang diakibatkan oleh fenomena glasial yang menyebabkan pembekuan serta penambahan volume es dikedua kutub bumi dapat juga mengakibatkan

perubahan muka laut. Faktor ini dipengaruhi oleh perubahan suhu pada atmosfera, yang bisa disebut sebagai glasial-isostasi. Perubahan atau pergerakan lantai samudra karena sejumlah besar sedimen dasar laut dari cekungan lantai samudra menunjam disebabkan oleh proses subdaksi mempengaruhi juga perubahan muka laut. Belum banyak diketahui berapa banyak pengaruh proses ini terhadap perubahan muka air laut apabila dibandingkan dengan aktivitas tepian benua. Hal ini disebut sebagai erosi-tektonik.

Sejumlah penelitian serta diagram perubahan muka air laut sudah dibuat untuk periode maksimum akhir glasial hingga saat ini. Data kenaikan muka air laut pada awal glasial sudah didokumentasikan dari beberapa daerah di dunia dan ternyata hal ini mempunyai kaitan erat dengan pencairan es di kedua kutub bumi, khususnya dibelahan bumi utara (Bloom, 1977).

Secara umum diagram perubahan muka air laut pada zaman Kuartar dibuat oleh Chappell, 1978, yang ditunjang oleh data penanggalan Radiometri (C^{14}) dan $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ dari beberapa daerah di dunia antara lain Barbados, Ryukyu, Timor Timur, New Zealand dan Papua New Guenia.

Dari diagram menunjukkan muka air laut pada 125.000 tahun lalu + 6 meter di atas muka air laut saat ini. Sedangkan pada 20.000 tahun lalu -120 meter di bawah muka air laut saat ini. Perubahan tersebut berlangsung juga antara 12.000 tahun dan 20.000 tahun lalu. Setiap puncak perubahan muka air laut ini ditandai dengan pembentukan undak laut (Chappell, 1978).

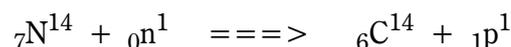
Sejak 18.000 tahun lalu muka air laut naik hingga mencapai ketinggian yang sama dengan muka air laut pada 7.000 tahun lalu. Pada umumnya geologiawan berpendapat bahwa sejak 18.000 tahun lalu suhu atmosfer di bumi mengalami kenaikan yang mengakibatkan mencairnya sebagian es di kedua kutub bumi dan mengakibatkan bertambahnya volume air laut di dunia. Setelah 7.000 tahun lalu suhu atmosfer relatif konstan hingga dewasa ini. Walaupun demikian sejumlah geologiawan berpendapat bahwa muka air laut saat ini di beberapa tempat mengalami penurunan sebanyak - 2 meter sampai - 3 meter di bawah muka laut pada 7.000 tahun lalu. Hal ini berarti adanya penurunan suhu atmosfer pada saat ini dan perubahan muka

air laut hanya dipengaruhi oleh proses glasial saja (Bloom, 1974).

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini metoda yang digunakan adalah mengukur ketinggian dari percontoh terumbu karang pada batugamping berumur Kuartar. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui runtunan proses pengangkatan secara rinci serta ketinggiannya dari rata-rata muka laut. Pengambilan fosil-fosil terumbu karang yang belum mengalami rekristalisasi diperlukan untuk penentuan umur mutlak dengan menggunakan metoda C^{14} di laboratorium pentarikhan Pusat Survey Geologi.

Percobaan yang pernah dilakukan Kurie (1934) yaitu dengan penembakan atom Nitrogen (N^{14}) oleh partikel netron menghasilkan isotop C^{14} dengan memancarkan proton, reaksinya adalah :



Montgomery (1939) menduga bahwa kemungkinan isotop C^{14} terbentuk diatmosfir melalui interaksi netron sinar kosmik dengan nitrogen. Dugaan ini timbul setelah sebelumnya Locker dan Rumbaugh (1936) menemukan nitrogen sinar kosmik.

Pentarikhan endapan karbon dari percontoh tertentu dengan menggunakan metoda radiokarbon didasarkan atas anggapan bahwa proporsi isotop C^{14} terhadap karbon diudara "relatif tetap" sejak zaman purba hingga saat ini, sehingga sisa aktivitas radioaktif suatu percontoh berkorelasi dengan umur semenjak percontoh tersebut tidak lagi menunjukkan aktivitasnya kehidupan yang dapat dihitung atas penggunaan harga waktu paruh peluruhan isotop C^{14} (Libby, 1951 ; Karlen. et. al, 1966).

Isotop C^{14} di atmosfer yang berada dalam bentuk $^{14}\text{CO}_2$, memasuki jaringan tanaman melalui proses fotosintesis atau penyerapan akar, dan selalu berada dalam kesetimbangan selama tanaman itu masih hidup. Begitu pula pada hewan mengandung jumlah isotop C^{14} yang relatif tetap, karena hewan memakan tanaman

atau menyerap ion-ion senyawa karbon di hidrosfir.

Pada saat tanaman atau hewan (mahluk hidup) mati, maka penyerapan isotop C^{14} akan terhenti, sehingga kandungan isotop C^{14} akan menurun karena proses peluruhan. Sisa aktivitas dalam jaringan tanaman atau hewan dapat menunjukkan lamanya waktu setelah kematian.

Peluruhan zat radioaktif berdasarkan pada reaksi orde satu, dimana banyak zat yang meluruh berbanding lurus dengan konsentrasinya. Persamaan dapat ditulis sebagai berikut :

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda (N)$$

$$-\int \frac{dN}{N} = \lambda \int dt$$

$$-\ln \frac{N}{N_0} = \lambda t$$

$$\ln \frac{N_0}{N} = \lambda t$$

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{N_0}{N} \quad \text{dimana} \quad \lambda = \frac{1}{t^{1/2}}$$

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{N_0}{N} \quad \text{dimana} \quad \lambda = \frac{\ln 2}{t^{1/2}}$$

$$t = \frac{t^{1/2}}{\ln 2} \ln \frac{N_0}{N}$$

$$t = \frac{5568}{0,963} \ln \frac{N_0}{N}$$

N_0 = aktivitas isotop C^{14} pada saat tanaman dan hewan (mahluk hidup lainnya) itu masih hidup.

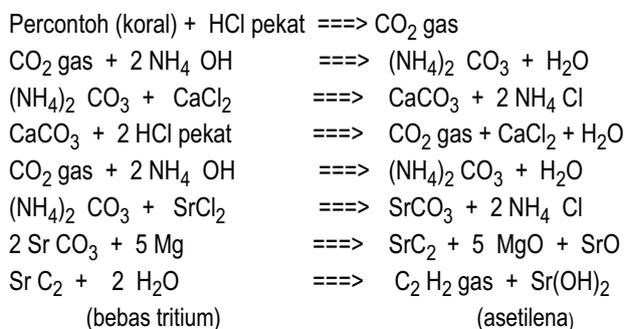
N = aktivitas isotop C^{14} dalam mahluk hidup yang telah mati.

λ = konstanta peluruhan.

$t^{1/2}$ = waktu paruh.

Proses penarikan radiokarbon dilakukan di laboratorium Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung. Teknik pengukuran dilakukan pada fasa gas yaitu gas asetilena (C_2H_2).

Tahap reaksi pembentukan gas tersebut adalah sebagai berikut :



Gas asetilena yang terbentuk dialirkan kedalam detektor "Multy Anoda Anticoincidence", dengan menggunakan rumus dan konstanta-konstanta tertentu maka dapat dihitung umur dari percontoh yang dianalisa.

Metode penelitian urutan-urutan undak laut yang digunakan pada penelitian ini adalah membuat penampang undak laut dengan menggunakan pengamatan citra satelit. Penampang dibuat dengan menggunakan perangkat lunak Global Mapper untuk mengetahui runtunan undak laut secara rinci serta ketinggiannya dari rata-rata muka laut tersebut. Pendekatan dengan menggunakan metode penginderaan jauh sudah cukup baik dalam mengenal urutan-urutan undak laut serta penampang tegaknya.

HASIL PENELITIAN

Kawasan pantai selatan Wonogiri di tempati oleh Formasi Wonosari-Punung yang terdiri atas batugamping terumbu, batugamping napal-tufan, batugamping konglomeratan, batupasir, tufan dan batulanau. Pada kawasan garis pantai tersingkap batugamping terumbu terangkat dengan membentuk morfologi undak laut.

Proses pengangkatan dan perubahan muka laut kala Kuarter mengakibatkan terbentuknya undak-undak laut di kawasan pesisir Wonogiri. Aktivitas subdaksi dari arah selatan ke utara merupakan pemicu terjadinya fenomena pengangkatan yang tidak pernah berhenti. Hempasan gelombang laut selatan membuat

gawir undak laut termuda mengalami erosi yang kuat hingga membentuk takik (*notch*).

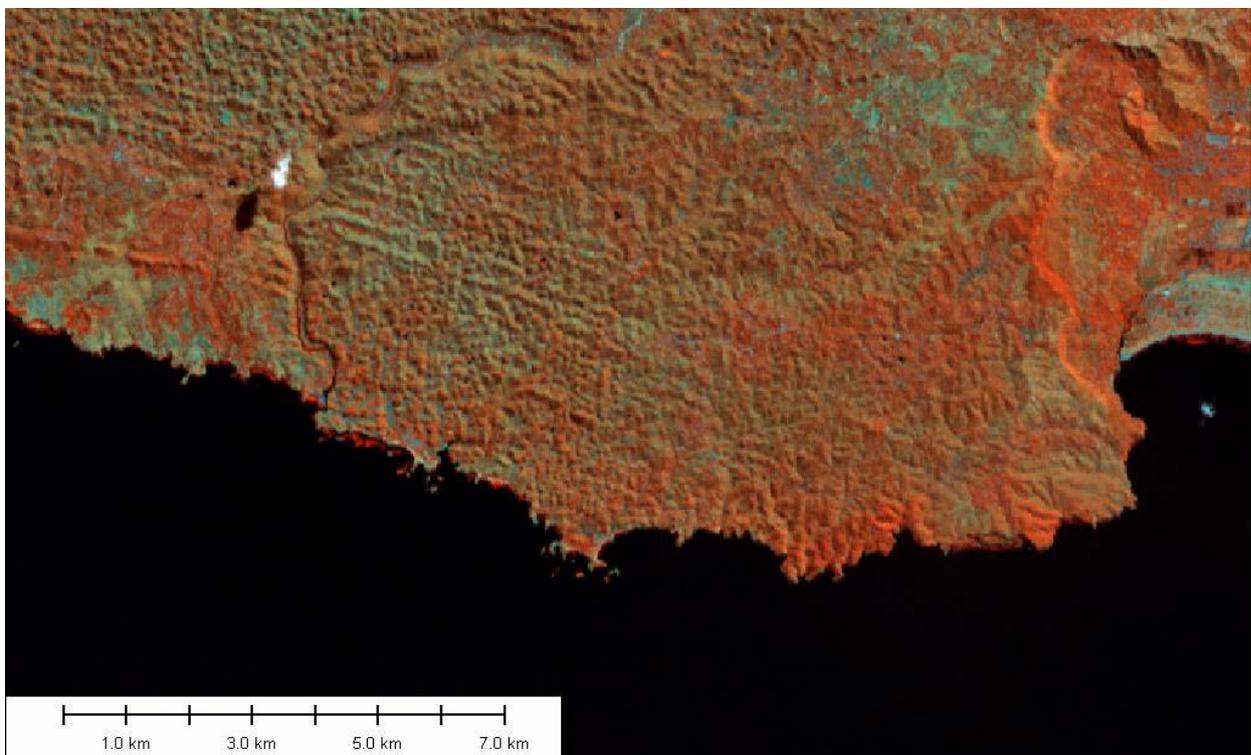
Pengamatan undak laut secara visual di lapangan tidaklah mudah karena bentukan undak laut sudah mengalami erosi oleh air serta vegetasi tutupan. Percontoh terumbu karang yang diambil di kawasan pesisir hampir seluruhnya telah mengalami rekristalisasi. Beberapa percontoh saja yang tampaknya memiliki kondisi cukup baik untuk analisis di laboratorium guna acuan pentarikan Radiokarbon (C^{14}).

Dengan menggunakan data gabungan dari *digital elevation model* (DEM) yang ditampilkannya dengan Landsat 7 ETM+ multi band dapat memberikan gambaran jejak-jejak undak laut di kawasan pesisir selatan Wonogiri ini. Setidaknya enam undak laut utama dapat dikenali dan ditelusuri perkembangannya ke arah barat dan timur pantai Ngungap dengan metode ini (Gambar 2).

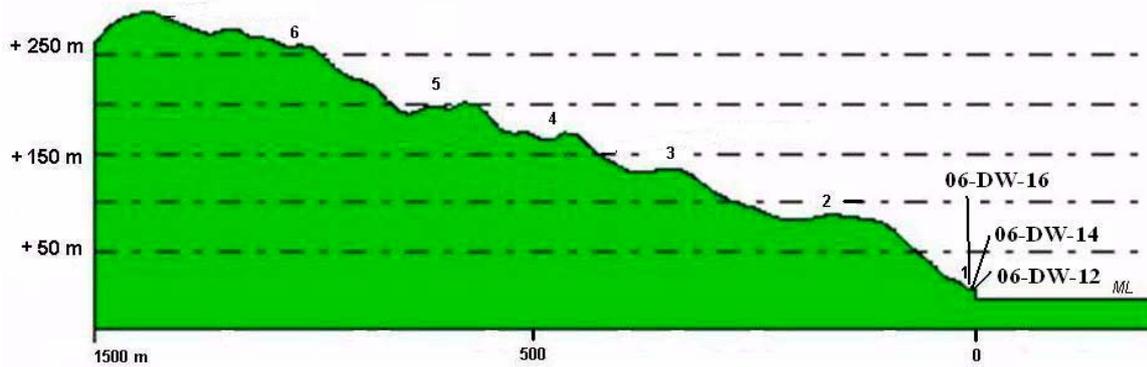
Paras undak laut memperlihatkan permukaan yang tidak rata, kasar dan garis-garis gawir undak laut yang hampir sejajar dengan garis pantai. Bentukan morfologi undak laut memperlihatkan kemiringan ke arah selatan

dengan sudut yang curam, antara 20° hingga 30° . Bentukan morfologi undak laut Holosen masih dapat dikenali dengan baik. Sedangkan undak laut interglasial sudah mengalami banyak perubahan bentuk oleh aktivitas erosi air. Walaupun demikian citra satelit sangat membantu dalam pengenalan bentukan undak laut yang lebih tua dan lebih tinggi.

Beberapa percontoh di ambil dari undak laut terendah hingga undak laut lebih tinggi dari +300 meter dari muka laut, sebagian besar terumbu karang yang di temukan sudah mengalami penghabluran ulang (rekristalisasi). Pencarian percontoh dilakukan mencapai ketinggian lebih dari +300 meter di atas muka laut, semakin mengarah ke undak laut interglasial semakin banyak kristal-kristal kalsit pada fosil terumbu karang. Pemilahan fosil terumbu karang di lakukan dengan sangat rinci bertujuan untuk mendapatkan tingkat kristal terendah. Analisis laboratorium Radiokarbon terbaik dengan menggunakan percontoh terumbu karang tingkat kristal terendah yang akan memberikan nilai penanggalan yang tepat. Kristal kalsit dapat memberikan penanggalan



Gambar 2. Tampilan citra satelit Landsat 7 ETM+ multi band daerah pesisir selatan Wonogiri



Gambar 3. Penampang tegak paras undak laut dan lokasi percontoh acuan standar pentarikan Radiokarbon di kawasan pantai Ngungap, pesisir selatan Wonogiri.

semu karena umur percontoh akan relatif lebih muda dari pada umur sebenarnya.

Hasil analisis Radiokarbon akan dijadikan acuan sebagai dasar perhitungan kecepatan pengangkatan rata-rata kawasan pesisir selatan Wonogiri. Pengambilan percontoh untuk acuan Radiokarbon dilakukan hanya pada satu undak laut saja karena terbatasnya percontoh terumbu karang yang memenuhi persyaratan di kawasan Wonogiri selatan. Sementara itu hasil penanggalan dari undak laut saja dapat dijadikan referensi untuk menyatakan kecepatan pengangkatan rata-rata kawasan pesisir Wonogiri ini. Sebenarnya percontoh lain dari undak laut yang lebih tua masih di butuhkan sebagai pembanding dengan analisis dari percontoh yang ada. Semakin banyak analisis pentarikan di lakukan maka semakin akurat perhitungan kecepatan pengangkatan rata-rata kawasan pantai selatan Wonogiri tersebut.

Lintasan tegak lurus garis pantai di lakukan pada pantai Ngungap, pesisir selatan Wonogiri, ke arah utara mendaki gawir-gawir undak laut hingga mencapai ketinggian ± 300 meter dari muka laut (Gambar 3). Pengambilan percontoh terumbu karang untuk acuan pentarikan Radiokarbon di lakukan pada beberapa permukaan undak laut. Hasil pantarikan di harapkan dapat memberikan gambaran kecepatan pengangkatan kawasan pesisir Ngungap.

Setidaknya ada 6 undak laut dapat dikenali dengan gawir yang sangat curam dan paras undak yang tidak rata. Dolina, gua, luweng (*sink hole*) dan torehan aliran sungai bawah permukaan tanah banyak di temukan pada

lintasan ini. Undak laut terendah (termuda) memiliki gawir setinggi 5 meter dari permukaan laut dan membentuk takik/lekukan (*notch*) akibat erosi gelombang. Tiga buah percontoh terumbu karang di dapatkan pada tepian gawir teratas dengan posisi tumbuh (06-DW-12 ; 06-DW-14 dan 06-DW-16).

Undak laut ke II dan III memiliki gawir yang curam serta permukaan batugamping yang yang tajam akibat erosi dengan ketinggian mencapai +80 dan +130 meter. Pada kedua undak ini tidak ditemukan percontoh terumbu karang yang memenuhi persyaratan sebagai acuan pentarikan Radiokarbon. Puncak undak laut ke II memperlihatkan morfologi yang sedikit rata dan luas, sementara undak laut ke III merupakan morfologi yang agak kasar dan sempit.

Pada gawir undak laut ke IV dengan ketinggian +150 meter diatas muka laut juga tidak ditemukan percontoh terumbu karang yang belum terhablur ulang. Percontoh tersebut telah mengalami rekristalisasi secara megaskopis sehingga di putus untuk tidak digunakan percontoh acuan pentarikan Radiokarbon sekaligus mewakili umur undak laut ke IV.

Dalam lintasan yang mendaki undak-undak laut ke V dan ke VI yang sangat terjal, tajam dan licin, morfologi undak laut sudah sangat sulit untuk di kenali karena sudah mengalami perubahan. Walaupun permukaan undak yang rata terkadang ditemukan tetapi hampir seluruh terumbu karang di sini telah seluruhnya rekristalisasi. Kristal-kristal kalsit yang cukup besar, berkilap dan keras sangat mudah untuk di lihat mengisi hampir setiap celah pada tubuh

fosil terumbu karang. Sebuah percontoh di temukan pada lebih dari +300 meter diatas muka laut dengan mengandung kristal kalsit dan di ragukan untuk pentarikan.

PEMBAHASAN

Proses penanggalan ketiga percontoh terumbu karang untuk acuan pentarikan Radiokarbon telah dilakukan di Laboratorium Kuarter, Pusat Survei Geologi, dengan menggunakan perangkat penanggalan Radiokarbon C¹⁴. Pemisahan kristal kalsit dari fosil terumbu karang memerlukan waktu yang tidak sedikit, karena jika kristal kalsit tersebut terbawa dalam proses pentarikan berakibat

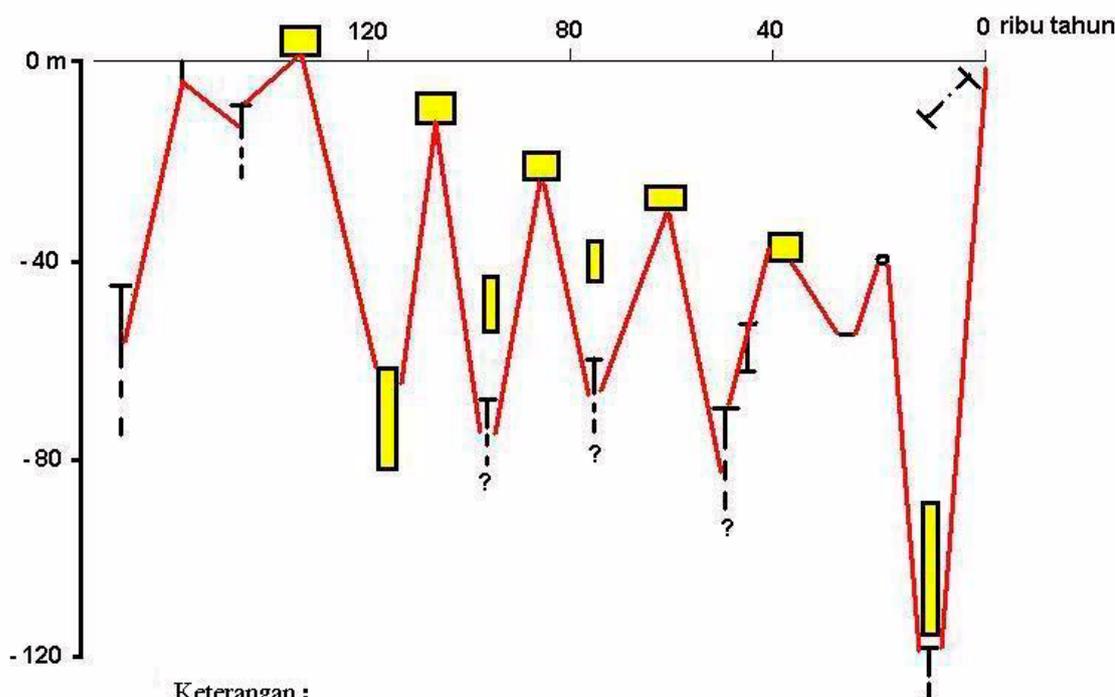
umur fosil yang akan di hasilkan tidak sesuai, cenderung untuk berumur lebih muda.

Pada tabel 1 merupakan hasil pentarikan dari tiga buah percontoh terumbu karang dari ketinggian ± 5 meter diatas muka laut, dengan menggunakan metode Radiokarbon C¹⁴, menunjukan nilai yang hampir sama antara ketiga percontoh tersebut.

Yang menarik dan jarang terjadi dari hasil pentarikan percontoh terumbu karang di pantai Ngungap, pesisir selatan Wonogiri ini adalah umur dari undak laut terendah berumur 25.350 ± 580 B.P ; 24.740 ± 540 B.P dan 26.150 ± 640 B.P dengan ketinggian +5 meter dari muka laut. Pada umumnya di daerah-daerah Indonesia bagian timur, undak laut terendah dengan

KURVA PERUBAHAN MUKA AIR LAUT PADA ZAMAN KUARTER AKHIR

Kompilasi dari data New Guinea dan tempat lain olah Chappel dan Veeh (1974)



Keterangan :

- T : Kompleks terumbukarang, muka air laut terendah tanpa data Radiometri
- T : Kompleks terumbukarang dengan data Radiometri (Chappel dan Veeh, 1970).
- Kompilasi dari Stenen dr (1973) dari data Barbados
- Kurva perubahan muka air laut purba.
- ? Muka air laut yang diragukan
- Muka air laut yang diperkirakan

Gambar 4. Kurva perubahan muka air laut purba (Chappel dan Veeh, 1974)

Tabel 1. Hasil pentarikan tiga percontoh terumbu karang di kawasan pantai Ngungap, pesisir selatan Wonogiri, Jawa Tengah.

No	No. Percontoh	Lokasi	Umur (C ¹⁴)
1.	06-DW-12	08°11'31,4" S ; 110°47'29,2" E	25.350 ± 580 B.P. (1950)
2.	06-DW-14	08°11'45,8" S ; 110°46'0,75" E	24.740 ± 540 B.P. (1950)
3.	06-DW-16	08°11'30,7" S ; 110°46'15,3" E	26.150 ± 640 B.P. (1950)

ketinggian +5 hingga +6 meter di atas muka laut berumur 125.000 tahun dengan kecepatan rata-rata 0,04 mm/tahun. Kecepatan ini hampir merata untuk kawasan pantai yang memiliki tektonik yang aktif seperti di pulau Buton, Peleng dan Luwuk di Sulawesi, juga pulau Timor dan Sumba di Nusa Tenggara.

Jika benar, bahwa undak laut terendah di kawasan pantai Ngungap ini berumur 25.350 ± 580 B.P. ; 24.740 ± 540 B.P. dan 26.150 ± 640 B.P. maka undak laut ini terbentuk saat air laut mulai naik dari posisi terendah (- 120 meter dibawah muka laut saat ini) dari kurva perubahan muka laut zaman Kuartir Akhir (Gambar 4). Dengan ketinggian 5 meter dari muka laut saat ini maka undak laut ini terangkat setinggi 125 meter dalam kurun waktu rata-rata 25.000 tahun. Kecepatan pengangkatan kawasan pantai Ngungap mencapai 5 mm/tahun. Kawasan pantai ini berhadapan dengan zona subdaksi yang sangat aktif maka proses pengangkatan memiliki kecepatan rata-rata per tahun yang lebih cepat di bandingkan daerah-daerah lain di Indonesia bagian timur.

Jika mengacu pada kawasan pantai terangkat di Indonesia bagian timur, undak laut terendah terbentuk pada interglasial akhir (125.000 tahun lalu) dimana undak laut berada pada ketinggian +5 atau +6 meter di atas muka laut saat ini, dengan kecepatan pengangkatan rata-rata 0,04 mm/tahun. Kawasan pantai Ngungap memiliki kecepatan pengangkatan lebih cepat dari beberapa pantai terangkat di Indonesia timur yaitu 5 mm/tahun. Kecepatan ini sangat berbeda dengan kecepatan pengangkatan rata-rata kawasan pantai terangkat lainnya di Indonesia timur.

Pada umumnya, kawasan pesisir pulau-pulau yang memiliki tektonik aktif di Indonesia timur setelah terbentuk undak laut berumur 125.000 tahun tidak terbentuk undak laut yang lebih muda terkecuali undak laut Resen yang saat ini sedang terbentuk, ini berarti bahwa

proses pengangkatan di beberapa kawasan pantai di Indonesia timur tidak mengalami pengangkatan akan tetapi lebih pada pergerakan horisontal akibat sesar-sesar mendatar yang aktif, seperti sesar Sorong di Banggai-Sula dan sesar Hamilton di Buton.

Berbeda dengan kawasan pesisir pantai Ngungap, suatu daerah yang merupakan jalur sesar anjak (*thrust fault*) dengan arah baratlaut – tenggara dan setempat ada yang berarah timurlaut – baratdaya yang mengakibatkan tersingkapnya terumbu karang berumur Kuartir dan membentuk undak-undak laut pada interglasial akhir dengan proses pengangkatan yang sangat cepat (Bemmelen,1949). Secara umum, kawasan pantai Ngungap mengalami proses penekanan lempeng samudra dari arah selatan Jawa sangat kuat dan aktif mengakibatkan terjadinya gempa bumi dan kawasan pesisir selatan Wonogiri ini secara berangsur mengalami pengangkatan setelah 125.000 tahun dan membentuk setidaknya 6 buah undak laut. Percepatan proses pengangkatan kawasan pantai Ngungap tidak hanya diakibatkan oleh penekanan lempeng samudra dari arah selatan tetapi juga oleh aktifnya sesar-sesar anjak yang tersebar dikawasan tersebut.

SIMPULAN

Pantai Ngungap di kawasan pesisir selatan Wonogiri, Jawa Tengah, merupakan garis pantai yang curam menyingkapkan batugamping terumbu terangkat. Lintasan tegak lurus terhadap garis pantai Ngungap dapat di kenali sedikitnya enam undak laut dengan permukaan yang kasar, tajam dan licin. Metoda penginderaan jauh dapat menggambarkan lintasan tegak lurus pantai yang dipadukan dengan pengukuran undak laut secara visual di lapangan.

Beberapa percontoh terumbu karang sebagai acuan pentarikan Radiokarbon di

temukan pada undak laut termuda +5 meter di atas muka laut. Percontoh tersebut di gunakan sebagai acuan perhitungan proses pengangkatan daerah penelitian di kawasan pesisir selatan Wonogiri, Jawa Tengah.

Hasil penanggalan dengan menggunakan metode Radiokarbon C^{14} menunjukkan percontoh termuda adalah 25.350 ± 580 B.P. ; 24.740 ± 540 B.P. dan 26.150 ± 640 B.P. yang ditemukan pada ketinggian +5 meter dari muka laut memberikan nilai kecepatan pengangkatan rata-rata di pantai Ngungap sebesar 5 mm/tahun. Kecepatan pengangkatan ini jauh berbeda dengan kawasan pantai bertektonik aktif lainnya di Indonesia timur, karena sejak 125.000 tahun lalu kawasan pantai terangkat Indonesia timur tidak terjadi pergerakan pengangkatan tetapi lebih pada pergerakan horizontal, sedangkan pada kawasan ini proses pengangkatan terus berlangsung tanpa jeda akibat penekanan lempeng samudra dari arah selatan serta aktifitas sesar-sesar anjak di kawasan tersebut dan membentuk undak-undak laut interglasial akhir.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Laboratorium Kuarter, Pusat Survey Geologi, yang telah memberikan fasilitas pentarikan Radiokarbon C^{14} dan Ketua Dewan Redaksi Journal Geologi Kelautan yang telah mengijinkan diterbitkannya makalah ini. Tidak lupa ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk meneliti serta memberikan dorongan yang positif hingga makalah ilmiah ini dapat diterbitkan.

ACUAN

Bemmelen, R.W. van, 1949. The Geology of Indonesia, Vol. 1A, *General Geology*. Martinus Nijhof, The Hague. The Netherlands.

Bloom, A.L., W.S. Broecker, J.M.A. Chappell, R.K. Matthew, and K.J. Mesolella, 1974, Quaternary sea level fluctuation on a tectonic coast : new $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ dates from the Huon Peninsula, New Guinea. *Quaternary Research* 4.

Bloom, A.L. 1977, Atlas of sea level curves. Internasional Geological Correlation Programme Project 61. (*Sea-level Project*).

Chappell, J.M.A., 1978, Late Quaternary tectonic movements and sea level changes at Timor and Atauro Island. *Geol. Soc. Am. Bull.* 89.

Karlen, I., I.U. Olsson, P. Kallberg, and S. Kilicci., 1966, Absolut determination of the activity of two C^{14} dating standards. *Arkiv Geofysik*, 6. 465 – 471.

Kurie, F.N.D., 1934, A new mode of disintegration induced by neutrons. *Phys. Rev.*, 45, 904 – 905.

Libby, W.F., 1951, Radiocarbon dating. *the university of Chicago press, Chicago*.

Locker, G.L. and Rumbaugh., 1936, Neutrons from cosmic-ray stÖsse. *Phys. Rev.*, 44, 779 – 781.

Montgomery, C.G., and D.D. Montgomery., 1939, The intensity of neutrons of thermal energy in the atmosphere at sea level. *Phys. Rev.*, 56. 10 – 12.

Sampurno dan Samodra, H., 1991, Geologi Lembar Ponorogo, Jawa. *Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung*.

Sumosusastro, S., 1956, A contribution to the geology of the eastern Djiwo hills and the southern range in central Java. *Dept. Geol. Facult. Scie., Indonesia Univ*.

Surono, Toha, B. dan Sudarno, L., 1992, Geologi Lembar Surakarta dan Giritontro, Jawa. *Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung*.