

UMUR RADIOKARBON KORAL TERUMBU HOLOSEN DARI PULAU-PULAU DI BUSUR TIMUR SUNDA DAN BUSUR BARATBANDA, INDONESIA

Wahyoe Soepri Hantoro
Puslitbang Geoteknologi - Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

ABSTRAK

UMUR RADIOKARBON KORAL TERUMBU HOLOSEN DARI PULAU-PULAU DI BUSUR TIMUR SUNDADAN BUSUR BARATBANDA, INDONESIA. Sejumlah contoh koral dapat diperoleh dari terumbu tersembul yang dijumpai masih pada posisi tumbuh dan dalam keadaan bersih tidak terhablur ulang. Umumnya contoh sebagai koral pejal jenis *Porites sp.*, *Goniastrea sp.*, *Favia sp.*, *Coeloseris sp.*, *Platygyra sp.*, *Oulaphylia sp.* dan *Pseudosiderastrea sp.* disamping koral cabang jenis *Acropora sp.* Sebagai komponen terumbu, koral-koral tersebut diperoleh dari bagian atas, dengan demikian mewakili tinggi terumbu yang berkisar antara 0,5 hingga 3 m di atas paras muka laut rata-rata surut paling rendah saat ini. Pentarikan contoh ini dilakukan untuk mengetahui umur mutlak terumbu tersembul tadi, yang dapat dianggap mewakili posisi paras muka laut saat pembentukannya. Radiokarbon (^{14}C) metode cair dipilih sebagai salah satu metode analisis pentarikan koral tersebut, yaitu dengan melakukan sintesa bensen terhadap contoh koral. Analisis dilakukan setelah dilakukan pemilihan berdasar pemeriksaan terhadap contoh dengan memakai berbagai metode, antara lain petrografi dan analisis geokimia, untuk mengetahui bahwa contoh tidak atau hanya sedikit mengalami proses penghabluran ulang sebagai indikasi migrasi geokimia pada cangkang. Hasil pentarikan memberi kisaran umur yang jatuh pada kala Holosen atau kurun waktu dari sekitar 1000 hingga 6 000 tahun lalu (BP). Analisis dengan metode lain ($^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ dan ESR) dilakukan sebagai upaya memperoleh umur pembandingan. Posisi tinggi terumbu pada kurun waktu tersebut menyatakan bahwa koral terbentuk pada saat bersamaan dengan naiknya paras muka laut setelah zaman pengesan (Glacial) menyusul pelelehan tudung es di belahan kutub, hingga tercapai puncak tinggi relatif paras muka laut pada 5 500 BP. Paras muka laut tersebut kemudian relatif turun terhadap daratan oleh terjadinya lentingan daratan oleh reaksi hidroisostasi, hingga mencapai posisi pada 0 m terukur saat ini.

ABSTRACT

RADIOCARBON AGES OF THE HOLOCENE CORAL REEF FROM THE ISLANDS ALONG THE EAST SUNDA AND THE WEST BANDA ARC, INDONESIA. Some coral samples can be obtained from emerged reef that are still found in its growth position and clean so that are free from the recrystallization. They are generally come from the *Porites sp.*, *Goniastrea sp.*, *Favia sp.*, *Coeloseris sp.*, *Platygyra sp.*, *Oulaphylia sp.* and *Pseudosiderastrea sp.* instead branching one of *Acropora sp.* As the reef component the coral are found from the top of the reef body, so they represent the height of reef that stay 0.5 to 3 m above mean lower tide sea level. The age dating samples had been done to obtain the absolute age of the emerged reef, that can be accepted to represent the sea level position during its formation. The liquid method of radiocarbon is chosen as the analysis method, by doing the benzene synthesis of the coral. Analysis had been done after the sample selection based on various methods: petrography and geochemistry, to check whether the samples are under the influence of the recrystallization that usually indicate the geochemical migration taken place in the coral skeleton. The dating result gives the Holocene age ranging from 1000 to 6000 yr BP. Others dating method analysis ($^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ and ESR) had been done to obtain the age correction. The relative high reef's position of that period reveals that the reef had been formed during the rise of the sea level following the melting ice cap, until the highest position that was attained around 5 500 BP. Sea level then decreased relatively than the land due to the hydroisostatic response, down to the zero present position.

PENDAHULUAN

Koral merupakan satu dari sejumlah komponen terumbu karang, yang kesemuanya, sebagai makhluk biologis memerlukan sinar matahari pada proses fotosintesisnya. Untuk itu, koral antara lain, memiliki kecenderungan tumbuh mendekati ke permukaan air laut. Sifat ini kemudian menjadikan koral merupakan salah satu petunjuk posisi paras muka laut relatif terhadap daratan atau sebaliknya.

Sebagaimana diketahui bahwa paras muka laut mengalami perubahan seiring perubahan zaman es dan selangnya (eustasie). Sebaliknya, daratan, oleh proses geologi juga mengalami pengangkatan dan penurunan. Fosil terumbu maupun terumbu yang sedang tumbuh berikut koralnya baik yang ditemukan berada di bawah permukaan laut maupun yang telah terangkat di atas permukaan, merupakan bahan yang memiliki informasi penting untuk rekaan ulang proses alam yang menyangkut perubahan paras muka laut dan gerak gerak daratan akibat proses geologi ataupun kondisi lingkungan yang terjadi di masa lampau.

Sejumlah fosil koral yang merupakan bagian dari suatu terumbu koral tersembul, dapat dikumpulkan dari berbagai tempat di Indonesia. Analisis radiokarbon contoh-contoh tersebut mengungkapkan saat pembentukannya. Dengan diketahui posisi contoh, maka dapat direka ulang kembali posisi relatif paras tinggi muka laut terhadap daratan relatif stabil di Indonesia pada kala Holosen (Hantoro, 1993h in press). Atas dasar ini, suatu terumbu yang memperlihatkan penyimpangan status terhadap kurva ini, dapat memberi petunjuk adanya gerak vertikal daratan relatif terhadap garis paras muka laut.

Sebelum analisis pentarikhan dikerjakan, perlu dilakukan sejumlah prosedur pemeriksaan dengan berbagai metode untuk mengetahui apakah contoh memenuhi syarat bagi pentarikhan, yaitu terbebas dari migrasi unsur karbon. Pentarikhan ^{14}C dilakukan di Laboratoire de Geologi du Quaternaire CNRS di Marseille dan ORSTOM di Bondy.

Terumbu koral tersembul

Hampir disemua tempat di pulau-pulau di Indonesia dapat ditemukan jejak paras muka laut relatif tinggi. Di antara jejak yang ada, teras terumbu koral merupakan bahan paling baik saat ini untuk mempelajari perubahan relatif paras muka laut terhadap daratan. Terumbu tersembul yang terukur pada posisi

antara 1 hingga 2,5 m di atas paras muka laut rata-rata surut paling rendah merupakan perhatian utama penelitian ini. Terumbu masih jelas memperlihatkan struktur tubuh suatu terumbu koral, komponen penyusunnya masih utuh, bersih dan relatif lunak serta tidak terhablur ulang. Hal ini menunjukkan bahwa terumbu ini terbentuk pada masa yang relatif belum terlalu lama. Posisi dari terumbu ini ditemukan pada ketinggian yang hampir seragam di tempat-tempat terpisah di seluruh pulau di Indonesia. Sejak dikembangkan metode pentarikhan ^{14}C dengan bahan contoh analisis berupa karbonat, maka koral menjadi bahan studi kunci dalam mengungkapkan gejala alam yang terjadi di masa lalu.

Sebagian besar terumbu tersembul umumnya ditemukan dalam keadaan utuh, namun sebagian lain hanya dijumpai berupa sisa terumbu yang terkikis ombak meninggalkan koral pejal berukuran besar yang masih bertahan pada tempatnya. Terumbu utuh bila ia terdapat pada tempat terlindung, atau bila seluruh terumbu tertutup endapan klastik pantai hasil rombakan dari bagian yang telah terabrasi. Tidak semua terumbu memiliki cukup banyak koral sebagai komponen penyusun utamanya. Bila jenis ini tergerus ombak, ia tidak akan meninggalkan sisa, lain halnya bila terumbu memiliki cukup banyak komponen koral pejal. Koral pejal umumnya merupakan penyusun bagian muka atau dikenal sebagai jambul depan terumbu. Sisa koral masifnya mewakili bagian terumbu (saat hidup) yang umumnya berada pada posisi tidak lebih rendah dari 25 cm dari muka air laut rata-rata surut paling rendah astronomis. Segera tercapai surut maksimum dan keluar dari air laut terutama pada siang hari, *zooxanthellae* pada koral akan terkelupas dan terhenti pertumbuhannya.

Contoh yang terkumpul dipilih dari koral yang ditemukan masih di tempat semula (in situ) dan pada posisi tumbuh. Kualitas koral harus masih dalam keadaan bersih dan tidak terhablur ulang. Dikenali beberapa jenis koral pejal yang umum ditemukan sebagai penyusun terumbu bagian jambul ini. Jenis koral pejal *Porites sp.* merupakan salah satu komponen penting bagian terumbu ini dan merupakan contoh paling baik sebagai bahan penelitian. Ini disebabkan arsitektur pori cangkangnya yang halus sehingga setiap laju pertumbuhannya dapat diwakili oleh bagian terkecil kerangka.

Latar belakang Metode analisis

Dasar pemikiran metode pentarikan¹⁴C ini adalah terjadinya peluruhan fraksi isotop tidak stabil ¹⁴C dengan waktu paruh konstan pada suatu unsur karbon yang terbentuk pada proses biokimia di alam dalam suatu sistem tertutup. Semenjak organisme berhenti metabolismenya dan tidak menghasilkan karbon, ¹⁴C tersebut tidak bertambah lagi dan akan terus meluruh. Peluruhan tersebut disertai dengan emisi sinar radioaktif, selanjutnya berdasarkan pengukuran emisi penyinaran ini kemudian dapat diketahui sisa fraksi ¹⁴C yang terdapat pada contoh. Berdasarkan waktu paruh peluruhan sebesar 5 570 tahun yang disepakati saat ini dan rumus tersebut di bawah, dapat dihitung waktu yang diperlukan untuk menyisakan sejumlah fraksi ¹⁴C yang kehadirannya dapat dihitung dari aktivitasnya yang terekam pada pencacah.

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

t = waktu sejak terhenti proses produksi

A₀ = aktivitas karbon ¹⁴C organisme hidup

A_(t) = aktivitas ¹⁴C pada waktu t sejak produksi

karbon terakhir

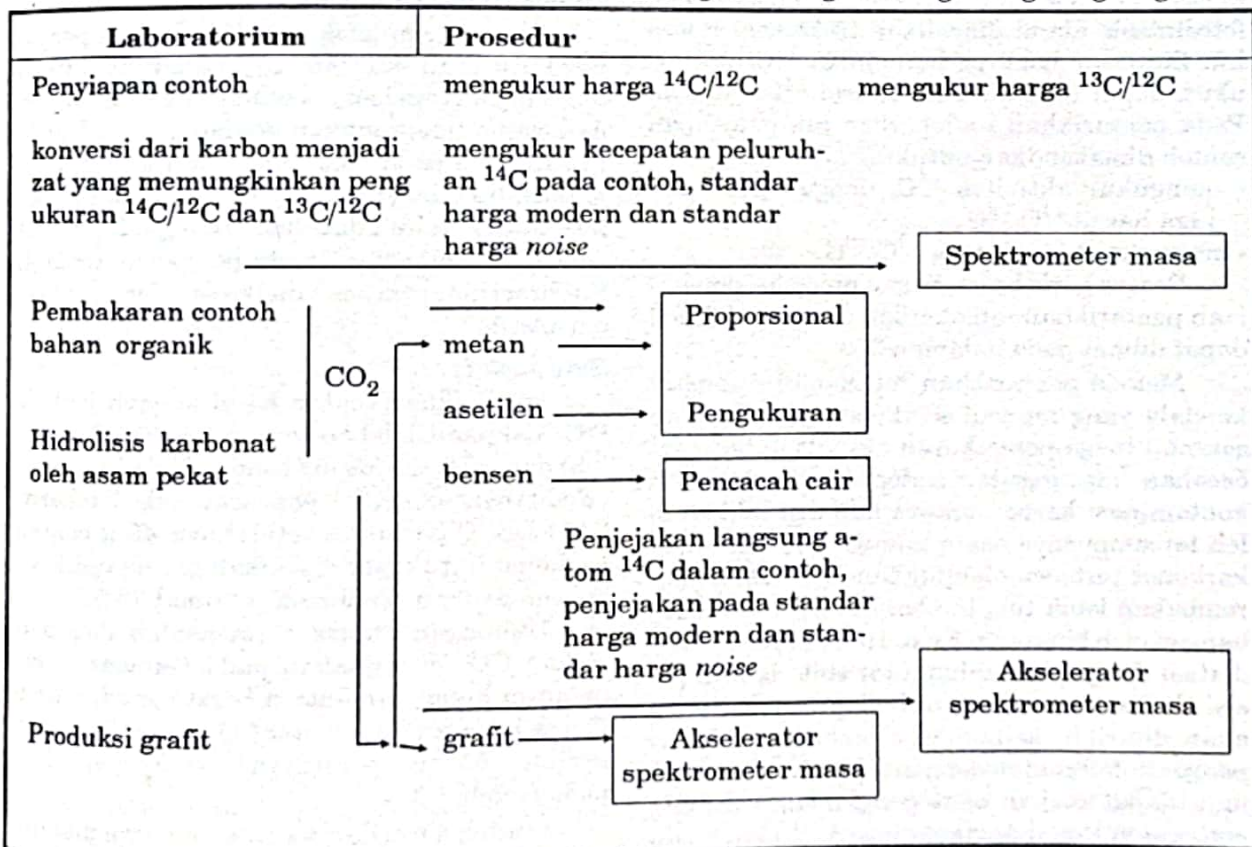
λ = bilangan peluruhan ¹⁴C

Penentuan umur tersebut sangat tergantung pada penentuan harga A₀ sementara A_(t) suatu contoh dapat dihitung dengan pencacahan emisi radiasinya. Harga A₀ setiap laboratorium diterakan standarnya dengan asam oksalat pada standar PDB di Biro Standar Nasional Amerika Serikat.

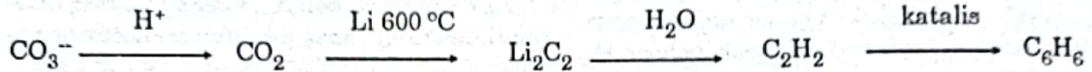
Bilamana A₀ dan A_(t) masing-masing diketahui, maka t_x dapat dihitung menurut persamaan:

$$t_x = i / \lambda \cdot \ln [A_0/A(t_x)]$$

Ketelitian metode pentarikan ini dari saat ke saat terus disempurnakan dengan melakukan koreksi terhadap berbagai faktor yang mempengaruhi hasil penentuan aktivitas asal maupun pengukuran aktivitas contoh sendiri. Diketahui bahwa terdapat perubahan aktivitas dan jumlah ¹⁴C menyusul era revolusi industri dan percobaan peledakan nuklir. Teknik pencacahan juga mengalami penyempurnaan dari pencacahan atas emisi radiasi kemudian dikembangkan dengan menghitung langsung atom

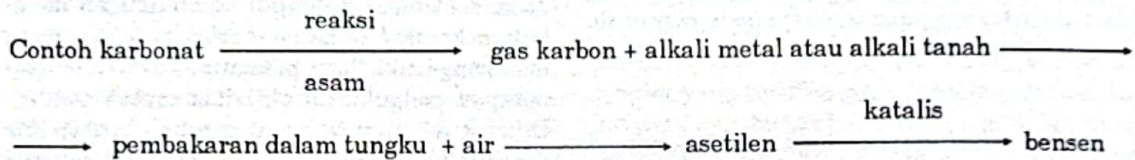


isotop berat berdasar metode separasi medan magnet. Metode penghitungan langsung atom isotop ini memiliki banyak kelebihan, antara lain ketelitian yang dapat ditingkatkan dengan kesalahan yang hanya pada bilangan puluhan tahun. Dibanding metode konvensional yang memerlukan contoh minimal 45 g, pada metode AMS ini hanya diperlukan contoh beberapa miligram saja. Pentarikan teliti dapat dilakukan dalam selang milimeter pada contoh inti koral misalnya, dengan demikian meningkatkan



resolusinya pada bilangan tahun sesuai dengan pelapisan tumbuh koral.

Urutan pengerjaan sintesis mengikuti prosedur sebagai berikut:



Pentarikan ^{14}C

Unsur karbon terdiri dari isotop-isotop ^{12}C (99%), ^{13}C (1%) dan ^{14}C (10^{-12}). Pada proses fotosintesis alami dihasilkan fraksinasi isotop ini. Berdasar hasil perbandingan $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ terukur, dapat diketahui fraksinasi $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ nya. Pada pentarikan radiokarbon ini, penyiapan contoh dimaksudkan untuk:

- mengukur aktivitas ^{14}C , dengan demikian juga harga $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$
- mengukur besar harga $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$

Secara garis besar, bagan prosedur pengerjaan pentarikan radiokarbon (Oeschger, 1986) dapat dilihat pada halaman 366.

Metode pentarikan ini memiliki sederet kendala yang muncul sejak saat pengambilan contoh hingga pengukuran aktivitas atau pencacahan langsung atom isotop ^{14}C . Kendala oleh kontaminasi karbon antara lain disebabkan oleh tercampurnya asam humus atau substansi karbonat terbawa oleh air tanah, inklusi bahan rombakan lebih tua, terobosan akar atau pelubangan oleh binatang (Evin, 1990). Hal ini dapat diatasi dengan memahami terlebih dahulu posisi dan status contoh terhadap formasi yang akan ditarikh, kemudian dilanjutkan dengan pengambilan contoh dengan tepat. Kontaminasi juga dapat terjadi saat pengambilan contoh, pengangkutan, penyimpanan dan penyiapan untuk analisis.

Metode pencacahan cair

Aktivitas β dari ^{14}C umumnya diukur dalam fasa gas. Unsur karbon pada contoh dapat terdapat atau diubah kehadirannya dalam bentuk ikatan gas-gas karbon (dioksida, metan, asetilen atau etan. Perkembangan berikutnya, pencacahan aktivitas ^{14}C dapat dilakukan dalam fasa cair. Karbon dimampatkan dalam ikatan bensen atau toluen. Sintesis bensen dari contoh karbonat dapat dituliskan rumusnya sebagai berikut:

Proses sintesis bensen dilakukan dengan mengikuti bagan alur pekerjaan pada rangkaian seperti pada Gambar 1.

Pengukuran keaktifan ^{14}C dengan pencah butil PDB dan dimetil POPOP dilakukan terhadap 4 gram bensen selama 14×100 menit. Alat yang dipergunakan adalah Packard 2000 LL. Koreksi pada hasil dilakukan untuk kompensasi fraksinasi isotop ^{13}C , sementara harga terukur 250 tahun dideduksi sebagai fenomena penuaan semu sehubungan pengaruh air laut. Kalibrasi alat pencacah dilakukan dengan standar IAEA.

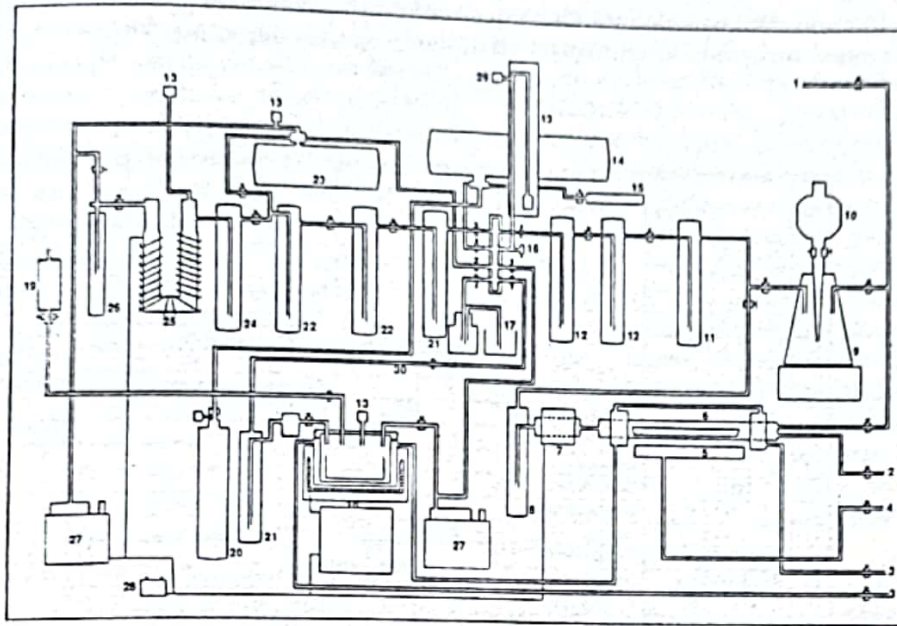
Hasil analisis

Pentarikan contoh koral dengan metode ^{14}C dilakukan di laboratorium ORSTOM (5 contoh) dan LGQ CNRS (52 contoh)(Tabel 1).

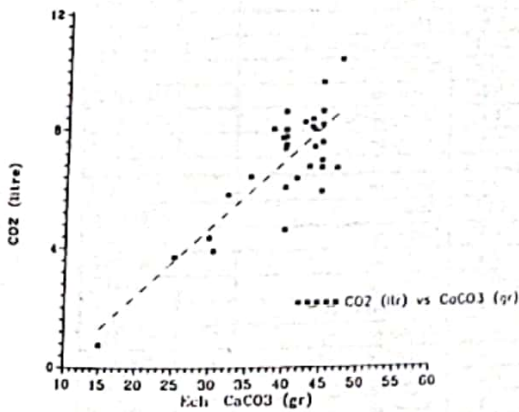
Keduanya memakai pencah cair Packard 2000 LL. Diperlukan setidaknya 45 g contoh karbonat untuk menghasilkan paling tidak 3 g bensen dengan rendemen minimal 75%.

Hubungan antara berat contoh dan perolehan CO_2 ditunjukkan pada Gambar 2, sementara hubungan antara berat contoh dianalisis dengan perolehan liter CO_2 , gram C_2H_2 dan persen rendemen perolehan bensen dipaparkan pada Gambar 3.

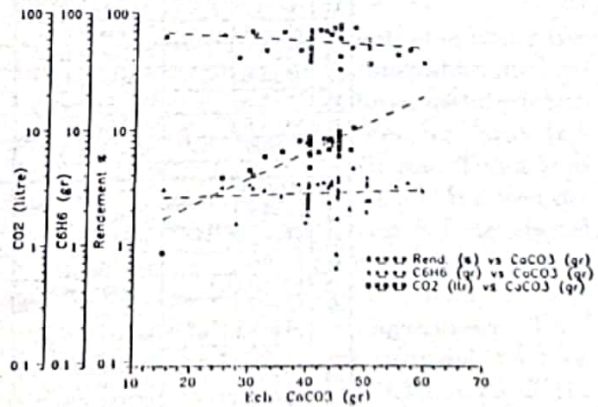
Contoh koral dari terumbu modern menunjukkan hasil pentarikan dengan umur lebih



Gambar 1. Bagan sintesis bensen dari bahan karbonat dan karbon. Rangkaian hasil rekaan R. Lafond ini dipergunakan di Laboratoire de Geologie du Quaternaire CNRS Luminy Marseille-Francis (Gambar oleh Hantoro, 1992)



Gambar 2. Hubungan antara perolehan CO₂ dengan berat contoh pada reaksi karbonat dengan asam pekat H₃PO₄.



Gambar 3. Hubungan antara berat contoh dengan perolehan CO₂ (liter), C₆H₆ (g) dan rendemen perolehan bensen (%)

Tabel 1. Rekapitulasi contoh koral dengan data lokasi, posisi ketinggian terhadap paras muka laut rata-rata surut terendah, kandungan kalsit, nama spesies dan umur ¹⁴C.

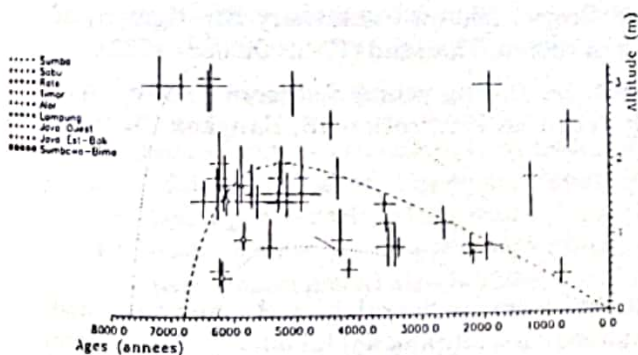
No	Code	Location	Altitude (m)	Calcite %	Description	Ages ¹⁴ C yr BP
1	ALR KBL 0.1.1	Kabola Alor	3.1	0.4	<i>Porites</i> sp.	6 370±170 D
2	ALR BJT 0.1.1	Bujanta Alor	2	0.6	<i>Porites</i> sp.	6 240±150 D
3	ALR BJT 0.0.1	Bujanta Alor	0	0.6	<i>Platygyra pini</i> (Chevalier)	actual
4	TM WLK 1.1	Walikota Timor	6/4.5	2.3	<i>Goniastrea retiformis</i>	33 373±1 098 D
5	TM WLK a.1	Walikota Timor	3/2.5	0.1	<i>Goniastrea pectinata</i>	6 839±173 D
6	TM CMT a.1	Kupang Timor	2.5	3.2	<i>Goniastrea pectinata</i>	4 452±173 D
7	TM TNU a.1	Tenau Timor	3.5	0	<i>Pseudosiderastrea tayami</i>	33 988±1 598 D
8	TM KERA a.1	Kera Timor	0.5	1.1	Coral	787±144 D
9	SMU BKN 1.1	Bakonusan Smau	7	2	<i>Oulophyllia crispata</i>	980±110 D
10	SMU OLM A0 1.1	Oeloemi	2.5	1.2	Coral	657±128 D
11	RT.BTN 1.5	Batuhun Rote	3	0	<i>Favia pallida</i>	28 124±674 D
12	RT.BTN 1.7	Batuhun Rote	3	0.4	<i>Porites</i> sp.	6 400±160 D
13	RT.BTN 1.8	Batuhun Rote	3	0.3	<i>Porites</i> sp.	6 370±180 D
14	RT.BTN 1.7a	Batuhun Rote	5	0.5	Coral	17 790±1 980 D
15	RT.PPL 0.1.1	Papela Rote	1.7	0.9	<i>Goniastrea retiformis</i>	5 900±190 D
16	RT.PPL 0.1.2	Papela Rote	1.7	0.75	<i>Porites</i> sp.	6 161±165 D
17	SBU RLE 0.1.2	Roaic Sabu	1.5	0.5	<i>Porites</i> sp.	5 966±184 D
18	SBU RLE 0.1.3	Roaic Sabu	1.5	0.3	<i>Goniopora</i> sp.	6 500±180 D
19	SMB MDL 1.2.8	Maudulung Sumba	7/5	1.2	<i>Favites flexuosa</i>	36 327±1 690 D
20	SMB MDL 1.2.12	Maudulung Sumba	7	3	Coral	31 200±2 500 D
21	SMB MDL 0.1.1	Maudulung Sumba	3	0.6	Coral	1 920±250 C
22	SMB MDL 0.1.3	Maudulung Sumba	3	0.5	<i>Porites</i> sp.	5 066±196 D
23	SMB MDL 0.0.1	Maudulung Sumba	0	0.6	<i>Porites</i> sp.	actual D
24	SMB LND 1.2.3	Laundi Sumba	7/4	1.1	Coral	26 238±548 D
25	SMB KTW 1.1	Katewela Sumba	5/3	2.7	<i>Porites</i> sp.	32 219±1 227 D
26	BM MW 0.1.1	Mcwu Sumbawa	0.5	0.4	<i>Porites</i> sp.	6 204±171 D
27	SBW UTN 0.1.1	Utan Sumbawa	1.5	0.6	<i>Porites</i> sp.	6 140±160 D
28	SBW BDS 0.1.1	Badas Sumbawa	1	0.3	<i>Goniastrea cf pectinata</i>	5 870±150 D
29	BLI BW 0.1.1	L. Bawang Bali	1.8	1.8	Coral	4 360±190 D
30	JVE BRD 0.1.1	Bronjong Tuban	2	0.4	<i>Favites cf chinensis</i>	5 249±164 D
31	JVE KTP 0.1.1	Ketapang E Jawa	1.8	0.3	Coral	5 290±180 D
32	JVE KTP 0.1.2	Ketapang E Jawa	1.8	2.8	Coral	actual D
33	PMP.1	Pancungpeuk	1.6	0.3	<i>Platygyra sinensis</i>	5 740±167 D
34	PMP.2	Pancungpeuk	1.6	0.9	Coral	4 930±260 C
35	SS BB A.1	Babaran W Jawa	1.5/0.5	0.8	Coral	5 170±340 C
36	SS BB A.2	Babaran W Jawa	1.5/0.5	0/0.1	<i>Goniastrea retiformis</i>	5 653± 157 D
37	SS TK B.2	Cape Ketapang	1.0	10.8	Coral	-
38	SS TK A.2	Cape Ketapang	1.0	0.2	<i>Porites</i> sp.	4 342±175 D
39	SS TK B.7	Cape Ketapang	1.8	1.3	<i>Favia pallida</i>	1 274±143 D
40	SUMUR 1	Sumur U Kulon	0.6	0.3	<i>Porites</i> sp.	6 231±157 D
41	U.GOT.1	Cape Genteng	0.9	0.5	<i>Porites</i> sp.	3 390±130 D
42	LP.BDK.1	Badak Lampung	1/0.9	0.05	Coral	2 240±160 D
43	LP.BDK.2	Badak Lampung	1/0.9	0.3	<i>Porites</i> sp.	2 200±140 D
44	LP.BM.1	Wai Ratai	0.6	0.5	<i>Porites</i> sp.	4 179±156 D
45	LP.LLG.LK.1	Lalangga Lunik	1.8/1.2	0.1	<i>Porites</i> sp.	6 278±161 D
46	LP.OLK.1	Olokolom	1.5	0.1	<i>Coeloseris mayeri</i>	5 308±141 D
47	LP.PLT.A.2	Bay of Plantung	1.2	0.1	<i>Porites</i> sp.	2 667±152 D
48	LP.PLT.A.3	Bay of Plantung	1.2	0.1	<i>Porites</i> sp.	3 586±147 D
49	LP.PIHW.LK.3	Puhawang Lunik	1.5	0.4	<i>Porites</i> sp.	6 183±164 D
50	LP.SIUT.1	Bay of Lampung	1.6	1.1	<i>Porites</i> sp.	4 943±161 D
51	LP.TBU.1	Tabuhan Island	1.8	0.1	<i>Favia pallida</i>	4 937±151 D
52	LP.PLT.B.1	Bay of Palntung	0.9	0.3	<i>Porites</i> sp.	1 980±230 C
53	LP.PLT.B.3	Bay of Plantung	0.9	0.1	<i>Porites</i> sp.	5 446±171 D
54	LP.TRM.1	Tirom	1.6	0.9	<i>Favia pallida</i>	5 300±270 C
55	LP.PLT.B.11	Bay of Plantung	1.45	0.4	<i>Porites</i> sp.	3 610±177 D
56	LP.PLT.B.12	Bay of Plantung	1.8/0.9	0.3	<i>Goniastrea retiformis</i>	3 450±170 D
57	LP.PLT.B.13	Bay of Plantung	0.8/0.9	1.5	<i>Porites</i> sp.	3 550±140 D

kecil dari 250 tahun, angka mana berada dalam kisaran angka koreksi oleh fenomena efek penamaan oleh pengaruh fraksinasi isotop ^{14}C di air laut dan koreksi pengaruh penyinaran kosmis. Koral berasal dari terumbu teras tersembul memberikan hasil pentarikan berkisar dari 1 200 hingga 6 800 tahun dari saat sekarang (BP).

Contoh dari teras bawah di Sumba, Timor dan Rote yang ditarikh dengan metode ini memberikan umur yang jatuh di atas 25.000 tahun. Contoh-contoh tersebut antara lain TM.WLK.1.1, TM.TNU.a.1, RT.BTN.I.5, RT.NMN.I.7, SMB.MDL.I.2.8, SMB.MDL.I.2.12, SMB.LND.I.2.3 dan SMB.KTW.I.2.

PEMBAHASAN

Metode pencacahan cair ^{14}C ini memiliki keterbatasan untuk menerobos batas ketelitian di bawah 150 tahun. Berdasarkan hasil koreksi pada pengaruh penyinaran kosmis yang dilakukan dengan larutan standar oksalat II yang ditera oleh IAEA, diketahui bahwa aktifitasnya mencapai angka perhitungan $154,7 \pm 10,38$ tahun. Pengaruh fraksinasi isotop modern (background) setelah revolusi industri dan masa percobaan ledakan nuklir memberikan angka $102,12 \pm 0,16$. Koreksi bersih aktivitas contoh terhadap $-25\% \delta^{13}\text{C}$ adalah $149,93 \pm 0,40$. Pada kondisi demikian, pentarikan koral modern yang memberi umur jauh dibawah 250 tahun (antara 20 dan 30 tahun) tidak dapat dikemukakan secara kuantitatif (ALR.BJT.0.0.1, SMB.MDL.0.0.1 dan JVE.KTP.0.1.2).



Gambar 4. Kurva paras muka laut Holosen di Indonesia (Hantoro, 1992)

Beberapa contoh koral memberikan hasil pentarikan yang jatuh disepertar 500 tahun. antara lain SMU.OLM.A.0.1.1, TM.KERA.a.1 dan sedikit lebih tua (980 th) pada contoh SMU.BKN.1.1. Menilik dari posisi dan status koral pada terumbu, koral ini wajarnya mewakili terumbu yang terbentuk pada kala Holosen Tengah-Akhir, yaitu saat penurunan berangsur paras muka setelah tercapai genang relatif paras muka laut tinggi di sekitar 5 000 th BP (Hantoro, 1992, 1993h in press). Prosedur analisis maupun data pentarikan tidak memperlihatkan penyimpangan. Keadaan demikian dapat ditafsirkan bahwa terumbu tersebut boleh jadi mengalami proses geologi lanjutan berupa pengangkatan sehingga berada pada posisi relatif lebih tinggi untuk suatu terumbu dengan umur relatif muda, jauh di bawah umur Holosen Tengah tersebut.

Kisaran umur yang cukup lebar dari koral Holosen bukan merupakan suatu penyimpangan untuk posisi yang diragukan. Posisi ketinggian koral dan terumbu sendiri menempatkan hasil radiokarbon ini pada suatu kurva variasi paras muka laut yang sudah diduga kecenderungannya bahwa bagi daerah Indonesia berupa lengkung yang memperlihatkan kenaikan cepat hingga ketinggian 2,5 m dan turun berangsur pada posisi 0 m (ketinggian saat ini, Gambar 4)(Clark et al, 1978, Hantoro, 1992).

Di lain hal, hasil pentarikan ^{14}C ini juga dikontrol dengan perbandingan terhadap metode lain, yaitu Th/U (SMU.BKN.I.1.1, RT.BTN.I.5SMB.MDL.0.1.3)

Diperolehnya umur jauh di atas umur Holosen pada tahap awal seri pentarikan ini disebabkan masih belum terlatihnya membedakan antara terumbu tersembul dengan teras terangkat dari umur yang lebih tua. Tidak mudahnya membedakan antara koral Holosen dengan koral dari jenjang isotop 5 (interglasial terakhir atau $\pm 125\ 000$ tahun lalu) menyebabkan terjadinya hal tersebut. Umur-umur tersebut, setelah di tarikh ulang dengan metode Th/U dan ESR memberikan umur yang sebenarnya, yaitu berasal dari jenjang 5 (TM.WLK.1.1, SMB.MDL.I.2.8, SMB.LND.I.2.3 dan SMB.KTW.I.2). Koral berasal dari teras lebih tua dari jenjang 3 tidak sesuai dengan metode pentarikan ^{14}C ini. Penyimpangan menjadi sangat besar sehingga kontrol koreksinya menjadi rapuh. Namun metode ini masih memadai dikenakan hingga umur di sekitar 35 000 tahun namun dengan koreksi dan pencacahan terkontrol dari

noise. Pencacahan dengan spektrometer masa atom dapat meningkatkan jangkauan umur hingga di sekitar 60 000 tahun (Bard et al., 1990b).

KESIMPULAN

Pentarikan ^{14}C metode cair melalui sintesis bensen memberikan hasil yang memuaskan pada analisis dengan contoh yang berasal dari bahan karbonat, terutama bagi koral yang ketersediaannya dan berkualitas sempurna dengan rendemen perolehan bensen dapat mencapai 80% dari minimal 45 g contoh.

Untuk contoh Holosen, metode ini sangat memadai pada kisaran umur di bawah 10 000 tahun. Metode ini hanya memberikan resolusi rendah dan rendah pula, namun ketelitian relatif masih layak dilakukan untuk studi dengan resolusi 250 tahun yaitu kurun waktu geologi Holosen. Diperlukannya jumlah banyak contoh menurunkan pula resolusi hasil pentarikan ini. Untuk mendapatkan hasil dengan resolusi

tinggi dan koreksi tinggi dengan kesalahan di bawah 25 tahun, diperlukan pentarikan pencacahan langsung atom isotop karbon.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Kepala Puslitbang Geoteknologi LIPI atas izinya mempublikasikan hasil penelitian ini. Terima kasih kami ucapkan kepada rekan-rekan di LGQ CNRS (S. Guedrez) yang membantu penyiapan dan membimbing penyiapan contoh untuk analisis radiometri. Terima kasih kepada R. Lafond dan S Bieda dari LGQ CNRS dan M. Furnier dari ORSTOM yang telah membimbing hingga memahami benar esensi pentarikan ^{14}C . Kepada M. Evin dari Univ. de Lyon I kami ucapkan terimakasih atas koreksi dan saran pada hasil pentarikan. Kepada Ii Sumantri, Djoko Trisukmono dan Djulaeha juga kami ucapkan terimakasih atas bantuan melengkapi gambar dan tabel.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bard, E., Hamelin, B., Fairbanks, R.G., Zindler, A., Calibration of ^{14}C timescale over the past 30 000 years using mass spectrometric U-Th ages from Barbados corals. *Nature* 345 (1990b) 405-410.
2. Clark, J.A., Farrel, W.E., Peltier, W.R., Global changes in Post glacial Sea level: A Numerical Calculation. *Quaternary Research* 9 (1978) 265-287.
3. Evin, J., Validity of the radiocarbon dates beyond 35.000 years B.P. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 80 (1990) 71-78.
4. Hantoro, W.S., Etude des terrasses récifales quaternaires soulevées entre le détroit de la Sonde et l'île de Timor, Indonésie Mouvements Verticaux de la Croûte terrestre et variations du niveau de la mer. Ph.D Thesis Univ. d'Aix Marseille II. France. Vol I (1992) 761, Vol. II (1992) 225, Published.
5. Hantoro, Emerged coral reef Limestone: Carbonate Formation of Holocene High Sea Stand In Indonesia. In: Proceeding of the IGCP Seminar: Project 296 on Quaternary Stratigraphy of the West Pacific and South East Asia Region, Khon Khaen, Thailand (17-22 Octobre 1993).
6. Oeschger H., ^{14}C dating, principles and methods. In: Dating young Sediments. ed. by: A.J. Hurford, E. Jüger and J.A.M. Ten Cate. CCOP Technical Publication 16, Bangkok Thailand (1986).

DISKUSI

Wiwik S. Subowo:

Bapak memberikan *warning* kemungkinan terjadinya karena di daerah kita. Apakah dari hasil pentarikan terumbu dari Selat Sunda memberikan indikasi tentang hal tersebut? (akan terjadi gempa tektonik).

Wahyoe S. Hantoro:

Indikasi kegempaan cukup kuat ditemukan di kawasan Selat Sunda pada kala Holosen (± 2000 tahun lalu), diperkirakan oleh adanya pengangkatan tiba-tiba kerak bumi yang direkam oleh erosi (takik) pada *Porites* sp. mikro atol.

Supardjo:

Koral yang ada di Indonesia umumnya berumur < 30 tahun, sedangkan koral yang bisa tersembul biasanya umurnya ribuan tahun. Mengapa demikian, karena Indonesia sudah ada ribuan tahun?

Wahyoe S. Hantoro:

- Umumnya fosil yang dikumpulkan dari ketinggian 0 - 3 m diduga sebelumnya sebagai fosil koral yang berasal dari kala Holosen (7000 - 0 tahun lalu).
- Fosil koral di Indonesia yang terdapat di pantai hingga ketinggian 1200 m dengan perkataan lain mempunyai kisaran umur dari 0 hingga jutaan tahun sementara yang telah diketahui umur absolutnya melalui metode ESR adalah fosil koral dari teras pada ketinggian ± 300 m yang berumur $\pm 600 \times 10^3$ tahun.

Moch. Ilham Pratopo:

Membandingkan hasil analisis kandungan Mg dan perkiraan umur dengan metode ^{14}C , apakah ada korelasi antara keduanya. Kalau korelasi ini tidak ada, apakah ada unsur lain yang dapat dimanfaatkan untuk mendukung analisa perkiraan umur tersebut secara representatif?

Wahyoe S. Hantoro:

- Ada indikasi tingginya Mg pada koral umur Holosen ini, namun sangat kecil penyimpangannya dari harga rata-ratanya. Pada koral lebih tua (300×10^3 tahun) penyimpangannya lebih besar lagi. Kuantifikasi dari kecenderungan ini sangat kecil hingga tidak dapat dipakai sebagai indikator atau pembanding dalam penelitian umur.
- Metode pentarikan berdasarkan kehadiran unsur dalam batuan dapat dilakukan antara lain dengan mengetahui adanya isotop Sr. Kehadiran isotop ini dilaut bervariasi dari waktu ke waktu.

Nasrullah:

1. Bagaimana metode serta formulasi yang dapat memberikan adanya indikasi kenaikan permukaan laut dengan laju 1 mm/tahun?
2. Bagaimana dengan teori Global Climate Change, yang salah satu isinya mengatakan bahwa kenaikan air laut ditimbulkan karena buruknya iklim sebagai akibat kerusakan lingkungan, yang pada akhirnya terjadi kenaikan temperatur global yang menyebabkan mencairnya es pada kutub utara sehingga menimbulkan naiknya permukaan laut? (Pandangan Bapak terhadap teori di atas).

Wahyoe S. Hantoro:

1. Trayeksi (kecepatan) pengangkatan dapat diketahui dari umur koral dan letak koral. Koral umur 120.000 tahun yang berada pada ketinggian 120 m menunjukkan kecepatan pengangkatan $1\text{mm/tahun} = \frac{120.000}{120.000} = 1\text{ mm}$.
2. Bila kecenderungan kenaikan temperatur atmosfer dunia memang sebagian besar diakibatkan oleh efek *autophogenic* (manusia) dalam mengelola lingkungan, maka perlu ada kesadaran bersama agar kenaikan temperatur bisa direm atau dihindari. Namun perlu diingat bahwa posisi astronomis bumi juga menyumbang gejala kecenderungan pemanasan bumi.
- Bila pemanasan global oleh berlebihan CO_2 , perlu dipahami bagaimana cara teknis mengurangi CO_2 di atmosfer. Dapatkah peran lautan tropis diganti dengan terumbu pada kapasitasnya menyerap CO_2 di atmosfer.
- Drop temperatur di belahan bumi utara saat ini apakah indikasi kecenderungannya kebalikan dari pemanasan?