

Saintek Vol 5, No 1 Tahun 2010
**PENENTUAN UMUR STALAGMIT PROVINSI GORONTALO
SEBAGAI PROXY DATA PALEOKLIMAT**

RAGHEL YUNGINGER

**Staf Dosen Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan IPA
Universitas Negeri Gorontalo**

ABSTRACT

Climate and weather area more varied and diverged, in which it impacts Indonesia significantly. Some people worry about this situation, especially they who are from agricultural, plantation, forestry, naval, and transportation areas. It becomes a consideration for the government to increase community economic activity, involving Province of Gorontalo. Moreover, Province of Gorontalo planned for Agropolitan in order to develop community economic system, so that, a preventive attempt need to find to cope climate impact. It can be conducted by providing sufficient data about past chronological climate. This data may give information about climate cycle and climate pattern that may appear in tropical area, especially in Province of Gorontalo. This research, however, is still limited to the determination of stalagmite sample age, in which it uses radiocarbon method. This method shows stalagmite sample from Province of Gorontalo has age shift of: Regency of Gorontalo 1 has 3410 ± 130 BP age; Regency of Gorontalo 2 has 1960 ± 130 BP; regency of Boalemo has 1830 ± 130 BP; and regency of Pohuwato has 3190 ± 130 BP. Stalagmit sample in the province of Gorontalo can be used to add and elongate data for paleoklimat analysis. Rapid rate of precipitation for respective sample are regency of Gorontalo 1: 0.17 mm/th, sample from regency of Gorontalo 2: 0.25 mm/th, sample from regency of Boalemo mm/th, and sample from regency of Pohuwato: 0.19 mm/th. Thus, stalagmite sample from Gorontalo can add time period to determine paleoklimat chronology pattern.

Key words: stalagmite, Paleoklimat, Radiocarbon method, Climate.

PENDAHULUAN

Kondisi cuaca dan iklim saat ini terlihat makin bervariasi dan menyimpang, khususnya di Indonesia dapat dirasakan misalnya pada tahun 1997/1998. Pada tahun ini merupakan kejadian *El-Nino* dengan intensitas terbesar yang mengakibatkan bencana kekeringan di Indonesia dan di seluruh dunia (Winarso 2001), bahkan dinyatakan sebagai bencana dahsyat. Swasembada pangan nasional yang diupayakan pemerintah Indonesia hancur oleh kondisi cuaca dan iklim yang tidak menentu hingga tahun 2000 atau mungkin sampai saat ini. Kondisi cuaca dan iklim terlihat makin bervariasi dan menyimpang, yang dampaknya sangat besar bagi Indonesia.

Fenomena ini makin mengkhawatirkan beberapa kalangan khususnya dari kalangan bidang pertanian, perkebunan, kehutanan, kelautan, dan transportasi. Tentu hal ini berdampak pada aktivitas perekonomian dan pada akhirnya menurunnya kesejahteraan rakyat. Dimana-mana akan terjadi kegagalan panen, perekonomian memburuk dan meningkatnya inflasi. Hal ini menjadi perhatian para ilmuwan, seperti yang dikemukakan oleh Wiratmo (1998), bahwa banyak para ahli dari berbagai disiplin ilmu mengungkapkan dan melukiskan fenomena anomali iklim beserta dampaknya.

Untuk mempelajari perubahan dan variasi iklim, perlu adanya kajian tentang iklim di masa lampau agar dapat diramalkan iklim di masa yang akan datang. Namun pada

kebanyakan kasus, kondisi masa lalu tidak terekam pada data instrumen akan tetapi terekam dengan baik pada bentuk-bentuk rekaman lain yang disebut sebagai *proxy indicator*. *Proxy* ini mampu merekam sinyal-sinyal yang berhubungan dengan *paleoclimate*, sebagai contoh diantaranya adalah variasi pertumbuhan endapan gua berupa *stalagmit*, variasi lingkaran pohon (*tree-ring*), *coral*, gambut dan lain-lain.

Pemilihan kajian dengan menggunakan *proxy* data sebagai data paleoklimat semakin berkembang pesat. Hal ini dilatarbelakangi oleh minimnya data langsung seperti curah hujan atau tekanan udara dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG), yang hanya menyediakan data beberapa tahun terakhir saja. Adanya data seperti ini tidak memenuhi rentang variabilitas iklim secara menyeluruh khususnya yang berkaitan dengan *event-event* global seperti *El-Nino* dan *La-Nina* yang mempunyai perioditas dua sampai tujuh tahun (Windupranata, dkk., 2001).

Kendala ketersediaan data iklim dalam periode yang panjang inilah yang dihadapi oleh negara berkembang seperti di Indonesia, akibatnya identifikasi perubahan iklim sulit dilakukan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengkajian dengan mempelajari variasi iklim pada masa lampau atau paleoklimat. Kajian terhadap paleoklimat ini menitikberatkan pada rekonstruksi data yang berhubungan dengan signal iklim lampau dengan data periode yang panjang pula, karena tanpa data yang banyak sulit dilakukan peramalan atau prediksi terhadap iklim lampau.

Peristiwa anomali iklim yang cenderung *chaotic*, juga ikut melanda Provinsi Gorontalo seperti pada tahun 2006 terjadinya *La-Nina* yang mengakibatkan adanya bencana banjir yang ikut mempengaruhi aktivitas perekonomian masyarakat. Kondisi ini menjadi suatu kekhawatiran bagi pemerintah daerah dalam meningkatkan aktivitas perekonomian masyarakat Gorontalo. Apalagi sekarang ini Provinsi Gorontalo sedang mencanangkan program agropolitan untuk pengembangan perekonomian masyarakat, demi meningkatkan kesejahteraan rakyat dan kemajuan Provinsi Gorontalo. Sehingga perlu mencari solusi upaya pencegahan secara dini dampak yang ditimbulkan oleh anomali iklim.

Oleh karena itu untuk mendukung program pemerintah Provinsi Gorontalo, maka perlu dilakukan pencegahan dini dari dampak yang ditimbulkan oleh anomali iklim yang seringkali berkaitan dengan bencana alam. Upaya pencegahan dini dapat dilakukan melalui kesediaan data yang cukup tentang kronologi iklim pada masa lampau. Karena dengan adanya data ini maka dapat diketahui siklus iklim atau pola iklim yang akan terjadi di wilayah tropis khususnya di Provinsi Gorontalo.

Namun sekarang ini data dari kronologi paleoklimat masih sangat kurang, akibatnya identifikasi perubahan iklim sulit dilakukan. Dengan demikian perlu upaya pengkajian untuk mempelajari variasi iklim pada masa lampau atau paleoklimat, dan perlu dilakukan pendataan kembali dengan data periode panjang demi untuk mengetahui perilaku atau variasi iklim di masa yang akan datang. Hal ini sesuai dengan penjelasan dari oleh Schweingruber (1976), dan Bijaksana (2005), tentang prinsip *Uniformitarianisme*, yang menyebutkan bahwa masa sekarang merupakan kunci terhadap masa yang lalu. Artinya dengan mengetahui kondisi aspek lingkungan yang berjalan di masa lampau, maka dapat diprediksi kondisi-kondisi yang berkaitan dengan aspek lingkungan dengan lebih baik di masa-masa mendatang.

Permasalahan yang terpenting adalah bagaimana pola iklim masa lampau sehingga dapat dipergunakan untuk modeling iklim masa yang akan datang. Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk memperoleh data, menambah database tentang pola iklim yang terjadi pada masa lampau melalui *proxy* indikator *stalagmit* khususnya di Provinsi Gorontalo.

Sehubungan dengan tujuan tersebut, maka proses penelitian ini diawali dengan penentuan umur sampel *stalagmit*. Proses penelitian diawali dengan pemilihan lokasi sampel yang dapat diperolehnya sampel yang diinginkan, agar sampel dapat digunakan untuk

pengukuran umurnya. Kemudian sampel yang diperoleh diukur umurnya dengan menggunakan metode radiokarbon.

TINJAUAN PUSTAKA

1 Tinjauan Tentang Stalagmit

Endapan gua atau *Speleothems* merupakan endapan yang terbentuk dari tetesan atau rembesan air tanah dari batuan induk atau *host-rock*, dimana air tersebut masuk ke dalam gua melalui atap atau dinding gua. Bentuk utama endapan gua terdiri dari tiga macam yaitu (1) Stalaktit, endapan yang tumbuh dari atap gua ke bawah berbentuk kerucut, (2) stalagmit, endapan yang tumbuh dari lantai gua atau batuan dasar ke atas berbentuk kerucut, dan (3) *flowstone*, endapan yang tumbuh karena aliran halus air atau rembesan air pada dinding gua maupun pada lantai gua (Latham et al, 1986).

Proses transportasi mineral magnetik dalam gua juga dimungkinkan terjadi pada saat banjir, dimana mineral magnetik pada dasar gua terbawa oleh air yang meluap sehingga mineral magnetik menempel atau terperangkap pada bagian luar stalagmit (Latham et al., 2004). Disisi lain, terjadinya banjir juga dapat memungkinkan merusak pengendapan mineral magnetik sebelumnya pada lapisan luar yang baru mengendap.

Dalam penelitian Fadhilah (1999) terhadap stalagmit, menunjukkan bahwa mineral utama pembentuk stalagmit adalah kalsit (CaCO_3). Kalsit tersebut terlarut dalam air tetesan maupun air rembesan. Disamping kalsit, endapan gua juga terbentuk oleh mineral lain maupun zat organik yang seringkali memberi perbedaan warna pada lapisan-lapisan endapan gua (Moore and Sullivan, 1997).

Dalam Kajian yang berhubungan dengan iklim lampau atau paleoklimat, sampel *speleothems* memiliki kekhususan dalam hal rentang waktu dan ketersediaan data. Hal ini berbeda dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh Yunginger (2006) yang menggunakan *proxy* data lingkaran tahun pohon (*tree ring*) yang memiliki resolusi tahunan, tetapi data yang dihasilkan hanya mencapai ratusan tahun. Sebaliknya *speleothems* memiliki keberagaman umur hingga rentang waktu yang cukup panjang dalam ratusan, ribuan bahkan puluhan ribu tahun (Morinaga et al., 1985; Ellwood et al., 1998). Ketersediaan data yang cukup panjang dan kemungkinan adanya berbagai *proxy* data yang dapat diambil dari *speleothems* khususnya stalagmit tersebut akan berguna untuk kepentingan prediksi perubahan iklim mendatang.

Menurut Gently dan Quinif (1996), ketebalan lapisan stalagmit berkorelasi dengan besarnya curah hujan. Sedangkan menurut Latham et al. (1989), perubahan warna *speleothems* disebabkan oleh banjir pembawa detritus mineral magnetik dan kotoran lain. Hal ini menunjukkan bahwa mineral magnetik meningkat sehingga dapat diasumsikan bahwa warna yang lebih gelap pada lapisan stalagmit terendapkan pada kondisi iklim lebih basah dan sebaliknya warna terang terendapkan dalam kondisi iklim yang lebih kering.

Pertumbuhan stalagmit sangat bervariasi bergantung pada banyak faktor, salah satunya aliran (tetesan air), sehingga stalagmit mempunyai alur-alur berwarna seperti halnya lingkaran tahunan pada pohon. Pertumbuhan stalagmit dapat diamati pada alur-alur tersebut, sedangkan perbedaan warna juga menunjukkan adanya perubahan kandungan tanah yang terbawa pada aliran.

Pertumbuhan stalagmit untuk mencapai tinggi tertentu berlangsung dalam waktu yang sangat lama mencapai ratusan sampai ribuan tahun, dan di dalamnya terkandung banyak informasi yang berguna untuk kajian paleoklimat dan paleomagnetik. Pertumbuhan stalagmit tergantung dari banyaknya tetesan dan kandungan kalsit yang larut, sehingga mempunyai alur-alur seperti lingkaran tahunan pohon. Dengan pertumbuhan yang terus menerus menyebabkan stalagmit mencapai suatu ketinggian tertentu, hal ini berlangsung

dalam ratusan sampai ribuan tahun, (Sari Yulia, 2001 : 15). Pertumbuhan stalagmit secara kasar dapat diukur dengan menghitung laju pengendapannya, yaitu hasil bagi antara tinggi stalagmit dengan umur stalagmit tersebut, Kemudian dari laju pengendapan tersebut dapat diprediksikan pertumbuhan stalagmit, (Sari Yulia, 2001 : 6).

Dengan demikian kajian paleoklimat yang menggunakan *proxy* data stalagmit dapat memudahkan kompilasi data yang nantinya kontribusi data tersebut akan berguna untuk kepentingan prediksi perubahan iklim mendatang atau *modeling* iklim masa depan. Hal ini juga berlaku untuk modeling iklim Provinsi Gorontalo, karena perubahan iklim sering berkaitan dengan bencana alam. Disamping itu dengan adanya prediksi iklim dengan jangka panjang dapat dilakukan perencanaan jangka panjang kegiatan perekonomian masyarakat Gorontalo.

2. Pembentukan Isotop C-14

Penentuan umur batuan dan benda-benda lain dapat dilakukan dengan metode yang berdasarkan radiokatif yang disebut radiometrik (Fadhilah :1997). Penggunaan zat radioaktif dalam hal ini dikarenakan konstannya laju peluruhan zat radioaktif tertentu, tanpa dipengaruhi oleh faktor eksternal. Perbandingan jumlah inti dan anak inti mantap dalam suatu benda menunjukkan umur benda tersebut. Semakin banyak proporsi anak inti semakin tua umur bendanya.

Metode radiokarbon dilakukan dengan cara menghitung aktivitas awal dan aktivitas akhir kandungan C14 yang terdapat dalam sampel materi yang akan dihitung umurnya. Masalah yang dihadapi dalam penentuan umur dengan cara ini adalah adanya pengotoran sampel oleh karbon tua atau karbon yang lebih muda dari lingkungannya. Oleh sebab itu diperlukan beberapa koreksi agar diperoleh hasil perhitungan yang lebih akurat.

3. Tinjauan Tentang Iklim

Studi tentang iklim mencakup kajian tentang fenomena fisik atmosfer sebagai hasil interaksi proses-proses fisika dan kimiafisik yang terjadi di udara (atmosfer) dengan permukaan bumi. Iklim selalu berubah menurut ruang dan waktu, dalam skala waktu perubahan iklim akan membentuk pola atau siklus tertentu, baik harian, musiman, tahunan maupun siklus beberapa tahunan.

Secara umum iklim didefinisikan sebagai keragaman keadaan fisik atmosfer. Sistem iklim dalam hubungannya dengan perubahan iklim menurut *United Nation Framework Convention on Climate Change* adalah totalitas atmosfer, hidrosfer, biosfer dan geosfer dengan interaksinya. Iklim berkaitan dengan atmosfer dalam jangka waktu panjang dan meliputi wilayah yang luas (Trewartha dan Horn, 1995).

Iklim terdiri dari beberapa unsur, yaitu: radiasi, suhu, kelembaban, tekanan, angin, presipitasi dan sebagainya. Dalam tinjauan secara garis besar iklim dapat diwakili oleh suhu (temperatur) dan hujan (presipitasi). Menurut Hidayati (2001) keragaman iklim dapat dibagi menjadi:

- a. Keragaman menurut tempat, ditentukan letak lintang (jauh-dekat dari peredaran matahari), ketinggian tempat, sebaran daratan dan lautan serta arah angin utama.
- b. Keragaman menurut waktu, terutama ditentukan oleh peredaran bumi mengelilingi sumbunya dan bumi mengelilingi matahari.

Umumnya musim hujan terjadi antara bulan Oktober hingga April dan musim kemarau terjadi pada bulan April hingga Oktober. Sebagaimana yang dijelaskan oleh Hidayati (2001), penerimaan curah hujan bulanan dapat dipisahkan menjadi tiga pola yang berbeda:

1. Sebagian besar wilayah Indonesia penerimaan musim penghujan dan musim kemarau berbeda nyata. Pola ini disebut *pola monsun*.

2. Sebagian wilayah equator musim kering tidak nyata. Puncak musim hujan terjadi dua kali sekitar bulan Desember pada saat matahari berada paling selatan dan pada bulan Juni saat matahari paling utara. Tipe ini disebut *tipe equatorial*.
3. Sebagian wilayah bagian utara hujan terjadi pada saat wilayah A dan B mengalami musim kemarau. Tipe ini disebut *tipe lokal*.

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

1. Tujuan Penelitian

Proses penelitian ini dilakukan bertujuan untuk memperoleh data tentang umur sampel stalagmit yang berasal dari Provinsi Gorontalo.

2. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian yang diperoleh diharapkan dapat :

- a. Mengetahui umur sampel stalagmit yang ada di Goa Provinsi Gorontalo
- b. Bermanfaat dalam pengkajian paleoklimat dengan periode yang panjang
- c. Menambah database tentang kronologi paleoklimat sehingga dapat menunjang rekonstruksi pola iklim masa lampau.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimen, dimana gabungan pekerjaan yang dilakukan di lapangan dan pengujian laboratorium. Pekerjaan lapangan dilakukan untuk pengumpulan sampel stalagmit yang di kab. Pohuwato, Boalemo, dan Kab. Gorontalo. Sedangkan kegiatan di laboratorium Radiocarbon adalah pengukuran umur sampel dengan metode pentarikan Radiocarbon C^{14} dengan teknik pencacah gas *Multy Anode Anticoincidence* yang melibatkan berbagai reaksi kimia.

1. Pekerjaan di Lapangan

Kegiatan penelitian di lapangan menitikberatkan pada pengambilan 4 (empat) sampel stalagmit. Lokasi pengambilan sampel adalah Goa yang ada di 3 Kabupaten yaitu :

1. Dua sampel di Kabupaten Gorontalo, yaitu di Kec. Mootilango Desa Sepuncak dan Kec. Batudaa di Desa Iluta
2. Satu sampel di Kabupaten Boalemo, Kec. Tilamuta
3. Satu sampel stalagmit di Kabupaten Pohuwato, Kec. Marisa, Desa Taluduyunu
Stalagmit yang dijadikan sampel diambil pada tempat yang relatif jauh dari pintu gua, dimana pertumbuhan stalagmit vertikal lebih cepat. Sampel dipotong dengan menggunakan gergaji, agar sampel masih tetap dalam keadaan utuh.

2. Pekerjaan di Laboratorium

Proses pekerjaan di laboratorium dilaksanakan pada bulan ke dua yaitu mulai bulan Juli 2008. Sehubungan dengan tujuan penelitian tahap I yaitu pengukuran umur sampel, maka pada penelitian ini harus melibatkan laboratorium Uji Pentarikan Radiokarbon, Laboratorium Geologi, Pusat Survey Geologi P3G Bandung. Karena laboratorium ini memiliki alat yang lengkap dan terakreditasi sehingga data yang diperoleh akurat dan benar-benar dapat dimanfaatkan.

Pekerjaan laboratorium yang dilakukan dan menjadi kunci utama kegiatan ini meliputi preparasi sampel batuan yaitu pencucian sampel, pembentukan kalsium karbonat, strontium karbonat, pembentukan karbida (SrC), produksi gas asetilena dan menentukan umur absolut sampel melalui pentarikan Carbon-14. Bahan kimia yang diperlukan antara lain asam klorida, ammonium hidroksida, kalsium hidroksida, serbuk magnesium, strontium hidroksida, nitrogen cair, es kering, *silicon high vacuum*, dan lain-lain.

HASIL DAN PEMBAHASAN

I. Hasil Penelitian

Proses pengukuran umur stalagmit yang menggunakan metode dating (penentuan umur) C^{14} atau metode radiokarbon, telah melalui beberapa tahap dan membutuhkan ketelitian dalam pengukuran. Empat sampel stalagmit diukur dengan mengambil sub sampel dari setiap sampel yang ada. Untuk stalagmit bagian yang diambil untuk diukur adalah dari Kab. Gorontalo I, 10 cm dari dasar dan sampel dari Kab. Gorontalo 2, 20-25 cm dari dasar, sampel dari Kab. Boalemo 26-32 cm dari dasar, sampel dari Kab. Pohuwato 5 cm dari dasar.

Proses pengukuran umur stalagmit membutuhkan waktu sebulan yaitu dari bulan Juli 2008 sampai dengan bulan Agustus 2008. Proses pengukuran tersebut telah selesai dan sekarang mulai pada proses analisis. Dari hasil analisis diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Pengukuran Sampel

Asal Sampel	Aktivitas TBS (cpm)	Aktivitas DC (cpm)	Aktivitas Sampel (cpm)	Umur	Ket.
Kab. Gorontalo I	$15,68 \pm 0,19$	$1,06 \pm 0,03$	$11,24 \pm 0,11$	3410 ± 130 BP	10 cm dari dasar
Kab. Gorontalo 2	$15,68 \pm 0,19$	$1,06 \pm 0,03$	$13,26 \pm 0,12$	1960 ± 130 BP	20-25 cm dari dasar
Kab. Boalemo	$15,68 \pm 0,19$	$1,06 \pm 0,03$	$13,45 \pm 0,12$	1830 ± 130 BP	26-32 cm dari dasar
Kab. Pohuwato	$15,68 \pm 0,19$	$1,06 \pm 0,03$	$11,53 \pm 0,11$	3190 ± 130 BP	5 cm dari dasar

Dari hasil pengukuran sesuai yang ada pada Tabel 2, menunjukkan bahwa aktivitas TBS (Tokyo Beet Sugar) dan DC (Dead Carbon) dilakukan setiap pengukuran aktivitas sampel. Karena kepekaan setiap detector terhadap radiasi kosmik di atmosfer berbeda. Pada penelitian ini diperoleh hasil pengukuran aktivitas TBS sebesar $15,68 \pm 0,19$ cpm untuk semua sampel. Besarnya aktivitas DC adalah $1,06 \pm 0,03$ cpm untuk semua sampel pada suhu $20^{\circ}C$ dan tekanan 71,2 cmHg.

Penentuan umur dengan menggunakan metode pentarikan radiocarbon $C-14$ mendapatkan hasil yaitu untuk sampel dari Kab. Gorontalo 1 memiliki umur 3410 ± 130 BP, sampel dari Kab. Gorontalo 2 memiliki umur 1960 ± 130 BP, sampel dari Kab. Boalemo memiliki umur 1830 ± 130 BP, dan sampel dari Kab. Pohuwato memiliki umur 3190 ± 130 BP. Dari data tersebut ternyata sampel dari Kab. Gorontalo 1 yaitu dari Kec. Mootilango Desa Sepuncak yang memiliki umur yang lebih tua.

Adanya umur mutlak stalagmite Provinsi Gorontalo, akan memudahkan dalam menentukan rata-rata laju pengendapan. Untuk mengetahui rata-rata laju pengendapan stalagmit diperoleh dengan menentukan hasil bagi antara tinggi sampel dengan umur mutlaknya. Dengan demikian diperoleh rata-rata laju pengendapan seperti pada Tabel 2 berikut :

Tabel 2. Rata-Rata Laju Pengendapan Sampel Stalagmit

Sampel	Umur	Tinggi (mm)	Rata-rata laju pengendapan (mm/th)
Kab. Gorontalo I	3410 ± 130 BP	567	0,17
Kab. Gorontalo 2	1960 ± 130 BP	500	0,25
Kab. Boalemo	1830 ± 130 BP	485	0,26
Kab. Pohuwato	3190 ± 130 BP	601	0,19

2. Pembahasan

Adanya umur stalagmit yang panjang yaitu sampai 3410 ± 130 sesuai hasil pengukuran, menunjukkan bahwa proxy data stalagmit ini dapat dijadikan *proxy* indikator

untuk kajian paleoklimat. Dimana dengan adanya umur stalagmit yang diperoleh tersebut dapat menambah dan memperpanjang periode waktu yang akan dibuat pola perubahan iklim yang terjadi pada masa lampau.

Jika melihat umur stalagmit yang telah diperoleh, ternyata sampel di Provinsi Gorontalo terbentuk beberapa ribuan tahun lalu. Terbentuknya stalagmit tersebut merupakan tetesan air yang jatuh dari stalagtit dan mengendap membentuk stalagmit. Umur stalagmit yang diperoleh dari pengukuran menunjukkan lamanya juga pengendapan stalagmit.

Berdasarkan data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa rata-rata laju pengendapan sepanjang pembentukan stalagmit tidak sama. Perbedaan ini disebabkan tidak konstannya aliran air dipermukaan untuk melarutkan CaCO_3 sehingga mempengaruhi air yang merembes dan perubahan kecepatan air yang menetes.

Rata-rata laju pengendapan stalagmit tergantung pada curah hujan, yang mempengaruhi kecepatan aliran air tetesan. Dimana bila kecepatan air tetesan besar, maka endapan yang ditinggalkan sedikit sekali, tetapi bila kecepatan tetesan lambat, maka endapan yang ditinggalkan sebagai speleothem karbonat lebih banyak. Dengan demikian perkiraan umur dari setiap sampel disebabkan perbedaan iklim yang mempengaruhi pertumbuhan sampel.

Sebagaimana yang menjadi tujuan penelitian ini yaitu untuk mengukur umur sampel stalagmit sehingga dapat digunakan untuk mengkaji iklim masa lampau, maka berdasarkan data hasil penelitian menunjukkan bahwa *proxy* indikator stalagmit dapat dipergunakan untuk menambah database atau memperpanjang periode waktu dalam melakukan kajian paleoklimat.

Hasil penelitian tahun I ini menjadi dasar untuk melakukan kompilasi data paleoklimat baik data dari stalagmit maupun data dari *proxy* lain seperti *tree ring* jati perkebunan, sehingga dapat diperoleh pola iklim masa lampau. Di mana untuk membuat pola atau rekonstruksi pola iklim masa lampau akan sulit dilakukan jika hanya menggunakan data dari satu *proxy* saja. Oleh karena itu dibutuhkan lagi data dari *proxy* lain seperti *tree ring* untuk di *crossdating* dengan data stalagmit sehingga mendapatkan pola paleoklimat yang lebih akurat dan memiliki periode waktu yang panjang. Dengan demikian perlu lagi dilaksanakan penelitian tahun ke-2 yang menitikberatkan pada pola iklim masa lampau yang terekam pada *tree ring* jati perkebunan di Provinsi Gorontalo untuk dipergunakan dalam modeling iklim masa yang akan datang.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penentuan umur stalagmit dengan metode radiocarbon menghasilkan kisaran umur yaitu Kab. Gorontalo 1 memiliki umur 3410 ± 130 BP, sampel dari Kab. Gorontalo 2 memiliki umur 1960 ± 130 BP, sampel dari Kab. Boalemo memiliki umur 1830 ± 130 BP, dan sampel dari Kab. Pohuwato memiliki umur 3190 ± 130 BP.
2. Sampel stalagmit yang ada di Provinsi Gorontalo dapat dipergunakan untuk menambah dan memperpanjang data untuk kajian paleoklimat
3. Perbedaan perkiraan umur dari setiap sampel disebabkan oleh perbedaan iklim yang mempengaruhi pertumbuhan sampel, sehingga menghasilkan perbedaan rata-rata laju pengendapan.
4. Rata-rata kelajuan pengendapan untuk masing-masing sampel adalah Kab. Gorontalo 1 : $0,17$ mm/th, sampel dari Kab. Gorontalo 2 : $0,25$ mm/th, sampel dari Kab. Boalemo $0,26$ mm/th, dan sampel dari Kab. Pohuwato $0,19$ mm/th.

SARAN

Merujuk pada hasil penelitian yang telah dilakukan pada tahun pertama ini, maka terdapat beberapa hal yang perlu untuk disarankan yaitu :

1. Perlu pengkajian lebih dalam tentang *proxy* indikator lain selain stalagmit seperti *tree ring* jati perkebunan
2. Penelitian ini penting untuk dilaksanakan karena berhubungan dengan kepentingan kehidupan masyarakat terutama dalam mengantisipasi lebih dini dampak negatif yang ditimbulkan oleh anomaly iklim, oleh karena itu perlu mendapat perhatian dalam tindak lanjut penelitian ini terutama dalam pendanaan.
3. Penelitian ini diharapkan mendapat dukungan dari peneliti lain untuk mengembangkan penelitian ini, karena masih kurang yang melakukan penelitian di bidang ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ellwood, B.B., et al., 2001, Paleoclimate and intersite Correlations From Late Pleistocene/Holocene Cave Sites : Result from Southern Europe, *Geoarchaeology : An International Journal* **16**, 433-463.
- Evans M. N. and Schrag P. D. 2004. *A Stable Isotop – Based Approach to Tropical Dendroclimatology*. Submitted to Proceedings ITB.
- Fadhilah, 1997, Penentuan Umur Radiometrik dengan Menggunakan C-14. Tesis Jurusan Fisika. Institut Teknologi Bandung.
- Fadhilah, 1999, Kajian Kristalografi pada Stalagmit dengan Difraksi Sinar X dan Analisis Rietveld, *M.Sc Thesis, Institut Teknologi Bandung*.
- Genty, D., and Quinif, Y., 1996, Annually Laminated Sequences in the Internal Structure of Some Belgian Stalagmites-Important for Paleoclimatology, *Journal of Sedimentary Research* **66**, 275-288.
- Horn and Trewartha, 1995, *An Introduction To Climate*. Pengantar Iklim. Gadjah Mada University Press.
- Latham, A.G., Schwarcz, H.P & Ford, D.C., 1986, The Paleomagnetism and U-Th Dating of Mexican Stalagmit, *DAS2, Earth Planetary Science Letter* **79**, 195-207.
- Latham, A.G., Ford, D.C. & Schwarcz, H.P., 1989, Secular Variation from Mexican Stalagmite : Their Potential and Problems, *Physics Earth Planetary Interiors* **56**, 34-48.
- Maher, B., and Thompson, R., 1999 *Quaternary Climates, Environments and Magnetism, Cambridge University Press*, 390 pp.
- Moore, G.W. and Sullivan, N., 1997. *Speleology : Cave and the Cave Environment*, 3th Edition, Cave Books.
- Morinaga, H., Inokuchi, H. & Yaskawa, K., 1985, Paleomagnetism and Paleotemperature of Stalagmite, *J. Geomag. Geoelectr.* **37**, 823-828
- Poussar P.F. dkk 2003. *Resolving Seasonality in tropical trees : Multi – Decade, High – Resolution Oxygen and Carbon Isotop Records From Indonesia and Thailand*. Submitted to Proceedings ITB.
- Sari Yulia, 2001. Menentukan Laju Pengendapan Batuan Gua Dengan Metode Radiokarbon. Fisika Universitas Negeri Jakarta
- Schweingruber. H.F. 1976 *Tree Ring. Basic and Application of Dendrochronolog.* Kluwer Academic Publisher. London.

- Stahle W.D, dkk. *Eksperimental Dendroclimatic Rekonstruksi of The Southern Oscillation*.
Submitted to Proceedings ITB.
- Wiratmo, 1998 *La Nina dan El Nino*. Penerbit ITB
- Yunginger, R., 2006, Studi Dendrokronologi Pada Jati Perkebunan (*Tectona grandis*) Di Kabupaten Madiun Jawa Timur.
- Zulaikah,S., 1999, Anisotropi Suseptibilitas Magnetik Pada Stalagmit, *Thesis Jurusan Fisika, Institut Teknologi Bandung*
- Zulaika, S., and Bijaksana, S., 2004, Magnetic Acquisition and Paleosecular Variation Observed in Stalagmite From East Java, Indonesia, *Joint The First Meeting of Asia Oceania Geoscience Society (AOGS)*, Juli 5th-9th Singapore.