

GUNUNGAPI DAN KEGIATAN HIDROTERMAL BAWAHLAUT DI PERAIRAN SULAWESI UTARA: MINERALISASI DAN IMPLIKASI TEKTONIK

Oleh :

Permana, H.¹⁾, McConachy, T.²⁾, Priadi, B.³⁾, Parr, J.²⁾, Hananto, N.D.¹⁾, Burhanuddin, S.^{4),5)}, Pirlo, M.²⁾, Brodjonegoro, I.S.⁵⁾, Sultan⁴⁾

¹⁾ Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI, Bandung, Indonesia. E-mail: permhp@yahoo.com

²⁾ CSIRO Exploration and Mining, Sydney, Australia

³⁾ Departemen Geologi, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

⁴⁾ Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia

⁵⁾ Departemen Kelautan dan Perikanan, Jakarta, Indonesia

S A R I

Ekspedisi kelautan IASSHA (Indonesia Australia Survey for Submarine Hydrothermal Activity) 2003 di kawasan perairan kepulauan Sangihe, Sulawesi utara telah mengidentifikasi Kawio Barat sebagai gunungapi bawahlaut dan indikasi kegiatan hidrotermal bawahlaut antara lain di Roa, Naung dan Banua Wuhu.

Kegiatan gunungapi Kawio Barat dicirikan oleh anomali transmisi cahaya akibat adanya influk fluida (plume) pada airlaut dan tingginya kandungan gas metan dalam airlaut yang berhubungan dengan tingginya kandungan mangan. Kamera bawahlaut merekam koloni dari polychaete ("tube worms") yang tumbuh pada batuan dimana gas metan muncul. Gejala mineralisasi pada batuan dicirikan adanya diseminasi pirit dan markasit pada batuan.

Indikasi hidrotermal gunung Roa dicirikan adanya tingginya kandungan gas metan dalam airlaut sekitar puncak bukit sedangkan gejala aktivitas hidrotermal gunungapi Naung teridentifikasi berdasarkan tingginya kandungan gas metan dalam airlaut. Batuan penutup perbukitan Naung berupa andesit, batuapung dan breksi andesit.

Perbukitan bawahlaut Banua Wuhu kemungkinan sebagai kawah parasit bawahlaut, terletak ditereng barat pulau gunung tidak aktif Mahengetang. Aktivasinya ditunjukkan oleh anomali lemah kekeruhan airlaut. Mineral ubahan berupa lempung, karbonat, klorit dan opak. Batuan terubah mengandung mineral halus pirit dan noda-noda kalkopirit.

Kata Kunci: Gunungapi bawahlaut; hidrotermal, transmisi cahaya, influk fluida, gas metan, mangan, koloni dari polychaete, diseminasi pirit dan markasit, kawah parasit.

ABSTRACT

The 2003 IASSHA (Indonesia Australia Survey for Submarine Hydrothermal Activity) expedition at Sangihe islands waters, North Sulawesi has identified the submarine volcano of Kawio Barat and also observed hydrothermal activities at Roa, Naung and Banua Wuhu.

The activity of Kawio Barat volcano is characterized by light transmission anomaly with correlated to fluids influx (plume) and higher methane gas in sea waters correlates to higher manganese content. A submarine camera grab recorded a polychaete ("tube worms") colony that growth on the rock where a methane gas seep. The pyrite dissemination and marcasite indicates rocks mineralization.

The Roa and Naung hydrothermal activities indicated by higher content of methane gas in sea water. The Naung volcano is covered by andesite, pumice and andesite breccia.

The Banua Wuhu hill is possibly as a parasitic cone of active Mahengetang volcano. The weak anomaly transmissometer of sea water indicates a hydrothermal activity. The alteration mineral are clay, carbonate, chlorite and opa mineral with fine mineral of pyrite and chalcopyrite.

Keywords: Submarine volcano, hydrothermal, light transmission, fluids influx, methane gas, manganese, polychaete colony, pyrite dissemination and marcasite, parasitic cone.

PENDAHULUAN

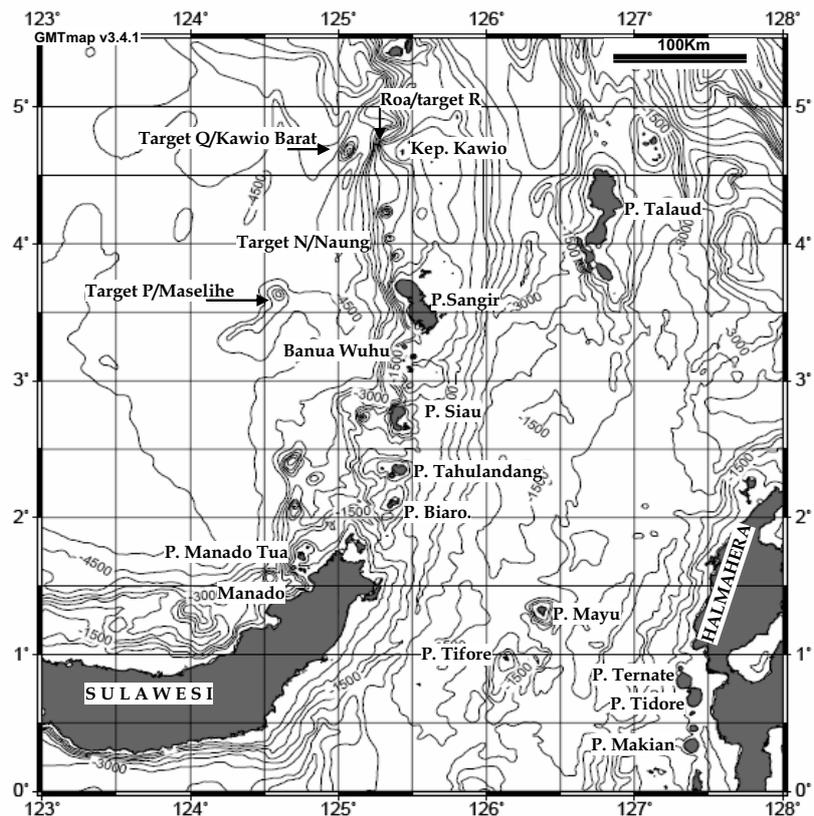
Kegiatan eksplorasi kelautan IASSHA 2003 (*Indonesia-Australia Submarine Survey for Hydrothermal Activity*) dilaksanakan diperairan kepulauan Sangihe, Sulawesi utara. Kegiatan tersebut telah berhasil mengidentifikasi kegiatan hidrotermal dan gunungapi bawah laut yaitu Kawio Barat (target Q), kawasan Roa (target R) dan Naung (target N). Target P (Maselihe) merupakan suatu perbukitan bawahlaut pada kerak samudera Lempeng Laut Sulawesi produk hot spot. Kegiatan hidrotermal bawahlaut lainnya teramati di Banua Wuhu, sebelah barat laut pulau Mehengetang. Lokasi kegiatan ekspedisi IASSHA diperlihatkan dalam gambar 1.

Kegiatan penelitian aktivitas hidrotermal dilatarbelakangi oleh adanya informasi indikasi endapan sulfida dan emas bawahlaut di sekitar kepulauan Sangihe-Talaud (Hardjawidjaksana dan Kristanto, 2001) serta peta penyebaran gunungapi bawahlaut di Indonesia yang kemungkinan prospek sebagai pengendapan mineral (*sediment hosted and volcanic prospective*) yang dipublikasikan oleh CSIRO-EM Sydney pada 2001.

GEOLOGI REGIONAL

Kepulauan Sangihe merupakan suatu busur kepulauan gunungapi. Kawasan ini ditempati oleh sejumlah gunungapi aktif seperti gunungapi Ruang di pulau Ruang, gunungapi Karangetang di pulau Siau, dan gunungapi Awu di pulau

Sangihe, sedangkan gunungapi aktif di daratan diwakili oleh gunungapi Lokon dan Soputan (Apandi dan Bachri, 1997; Efendi dan Bawono, 1997). Busur gunungapi tersebut memanjang dari selatan ke utara sepanjang 550km dengan lebar 70km terdiri atas 20 pulau yang 12 diantaranya merupakan gunungapi Kuartar. Dalam busur gunungapi Minahasa-Sangihe dijumpai satu gunungapi bawahlaut yaitu Banua Wuhu (gambar 1) yang aktif sejak 1919 (Tomascik et al., 1977). Puncak gunungapi Banua Wuhu berada pada kedalaman 6-10m di



Gambar 1. Daerah ekspedisi IASSHA di kawasan kepulauan Sangihe, Sulawesi Utara antara lain mengamati target P: Maselihe; target Q: Kawio Barat; R: Roa; target N: Naung dan Banua Wuhu. Sumber peta dari GMTmap v.3.4.1, 2005

bawah muka laut, dengan panjang 250m dan tinggi 500m dari dasar laut. Gunungapi dasar laut memperlihatkan kegiatan berupa pemunculan gas dengan suhu 50°C – 53°C dan diperkirakan dikontrol oleh struktur berarah Timur-Timurlaut.

Busur gunungapi Minahasa-Sangihe berumur Miosen Tengah sampai Kuartar (Hamilton, 1979) merupakan hasil dari subduksi aktif ke arah barat dari penunjaman ganda dari lempeng Laut Maluku/LLM. LLM terbentuk sebagai hasil terperangkapnya litosfir samudera India diantara lempeng Australia dan lempeng Laut Pasifik yang mengalami tumbukan pada 25Ma dan menjadi bagian dari lempeng laut Filipina pada 15 Ma (Hall, 1996). Busur gunungapi Minahasa-Sangihe bersambung dengan busur Sulawesi Utara/Minahasa di bagian selatan dan menyambung ke utara dengan busur bagian tengah Mindanao Selatan (Hamilton, 1981). Kegiatan gunungapi Kuartar berkaitan dengan penunjaman ke barat dari LLM sedangkan aktivitas gunungapi Tersier dipengaruhi oleh penunjaman ke utara dari lempeng Australian dibawah lempeng Eurasian (Monnier, et al., 1995).

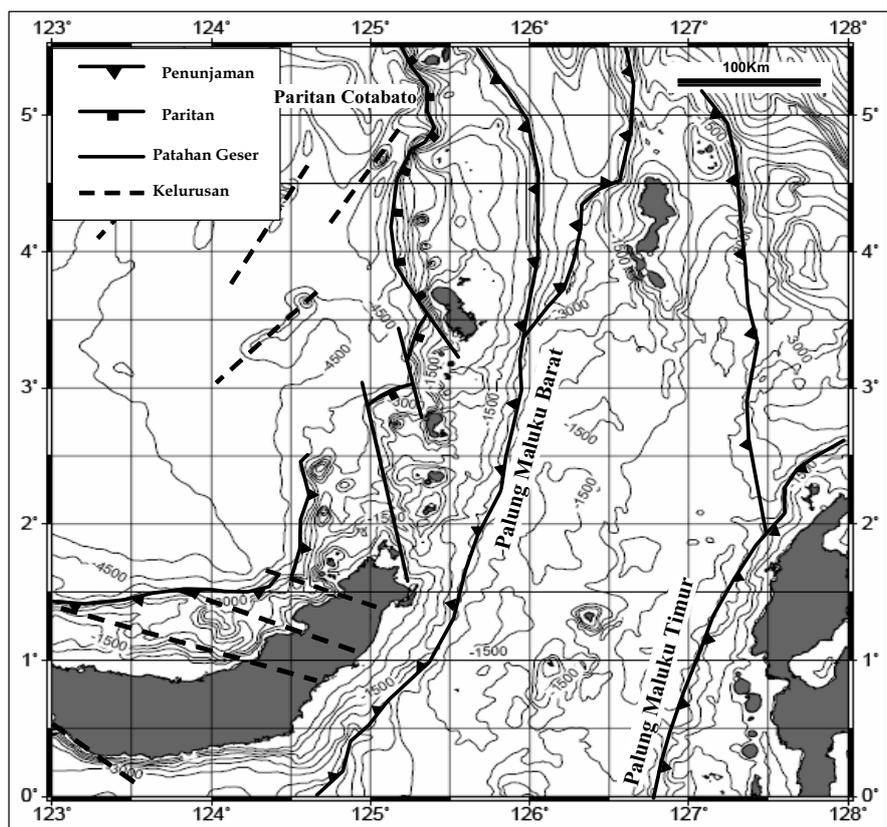
Silver, Rangin, von Breymann, et al. 1991 berpendapat subduksi LLM berlangsung sejak 7-4 juta tahun lalu dan masih terus aktif. Sementara Hamilton (1979) berpendapat bahwa kegiatan volcanisme busur gunungapi berkurang kegiatannya di kawasan utara (4°N) dibandingkan di selatan. Bagian barat busur dibatasi oleh palung Cotabato dan cekungan Sulawesi. Cekungan tersebut berumur Eosen tersusun oleh kerak samudera dengan ketebalan 6-7km (Murauchi et al., 1973) dan ditutupi oleh lapisan tephra. Tidak ada kegiatan vulkanik yang

tercatat dari cekungan Sulawesi (Silver, Rangin, von Breymann, et al. 1991)

Penunjaman ganda dari LLM ke arah barat membuat sudut kemiringan penunjaman yang besar (45°) sampai pada kedalaman 600km yang membentuk busur gunungapi Sangihe. Sementara itu busur Halmahera berkaitan dengan penunjaman miring ke timur yang relatif landai (30°) dari LLM sampai pada kedalaman 200-229 km (Cardwell dan Isacks, 1981). Data seismologi dan studi tomografi memberikan konfirmasi terhadap pola subduksi ganda dari LLM (Hamilton, 1979; Silver dan Moore, 1981; McCaffrey, 1982; S. Widiyantoro dan van der Hilst, 1996; 1997).

STRUKTUR GEOLOGI

Pola struktur daerah pengamatan seperti kelurusan struktur atau liniasi baik itu lembah, gawir maupun gunungapi ditafsirkan dari peta altimetri-batimetri (GMTmap v.3.4.1, 2005) seperti pada gambar 2. Struktur utama adalah



Gambar 2. Penafsiran pola kelurusan struktur dikawasan busur kepulauan Sangihe. Kegiatan kegunungapian dan hidrotermal kemungkinan dikontrol oleh pola kelurusan yang umumnya berarah barat-laut-tenggara (peta batimetri GMTmap v3.4.1, 2005).

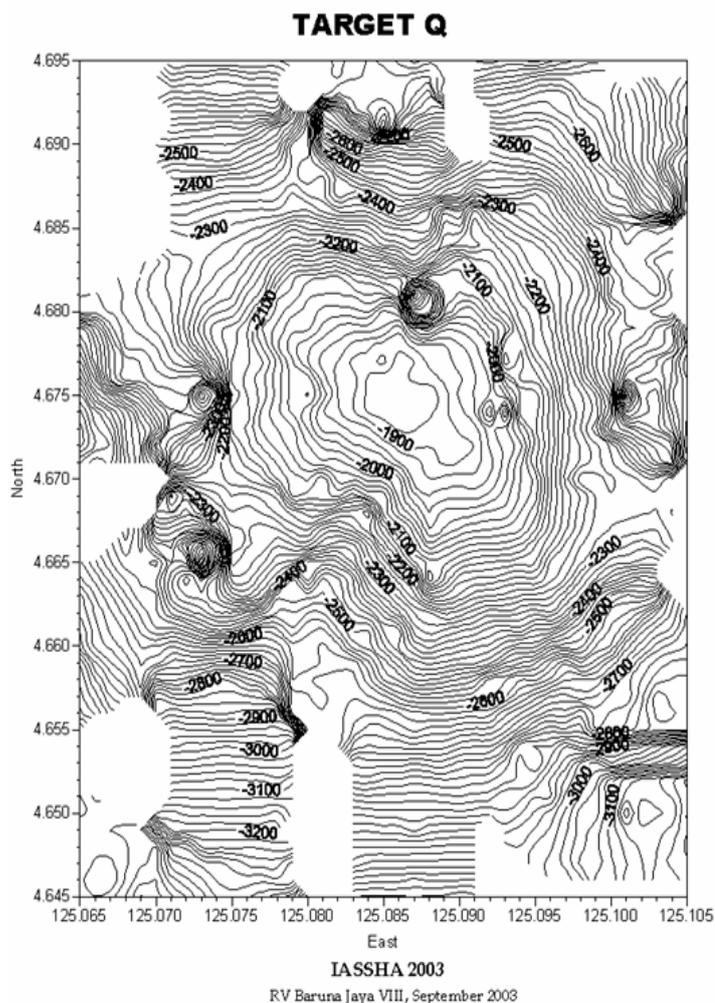
penunjaman ganda dari Lempeng Laut Maluku yang membentuk Busur Gunungapi Sangehe di sisi barat dan Busur Gunungapi Halmahera di sisi timur. Kegiatan kegunungpian dan hidrotermal (darat dan bawahlaut) pada Busur Sangehe dikontrol oleh zona lemah sepanjang kelurusan struktur yang umumnya berarah baratlaut-tenggara sedangkan pola kelurusan pada kerak samudera Lempeng Laut Sulawesi berarah timurlaut-baratdaya. Mengamati penyebaran gunungapi mulai Tersier sampai Kwartir (masih aktif) ada keteraturan dimana kegiatan gunungapi tua berada pada bagian tenggara pulau sedangkan gunungapi aktif atau relatif muda berada pada ujung baratlaut pulau. Oleh karena itu kemungkinan besar bahwa kegiatan vulkanisme tersebut mengalami migrasi dari tenggara ke arah baratlaut melalui zone lemah tersebut selama masa kegiatannya (Permana et al., 2003).

METODA

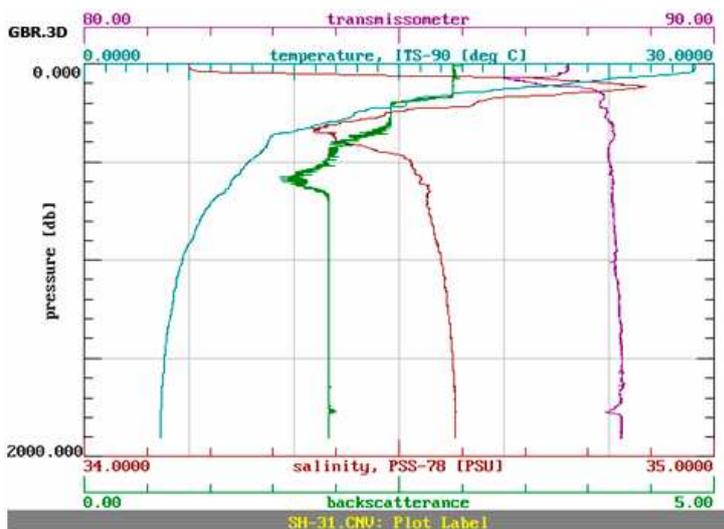
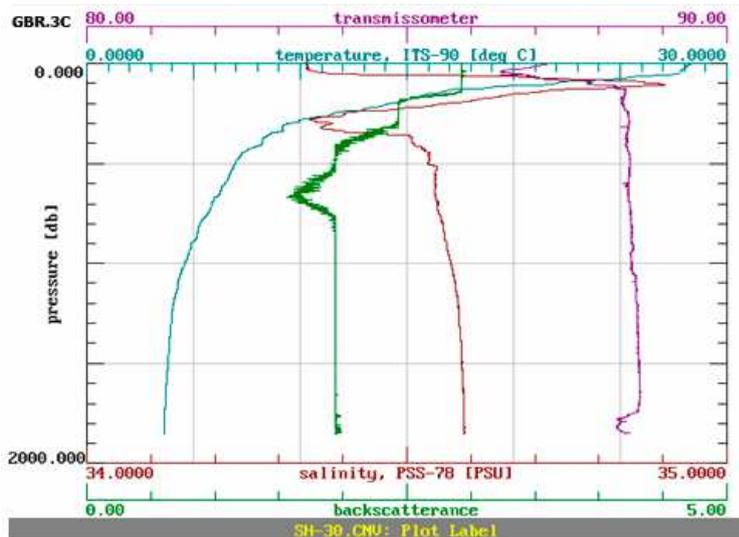
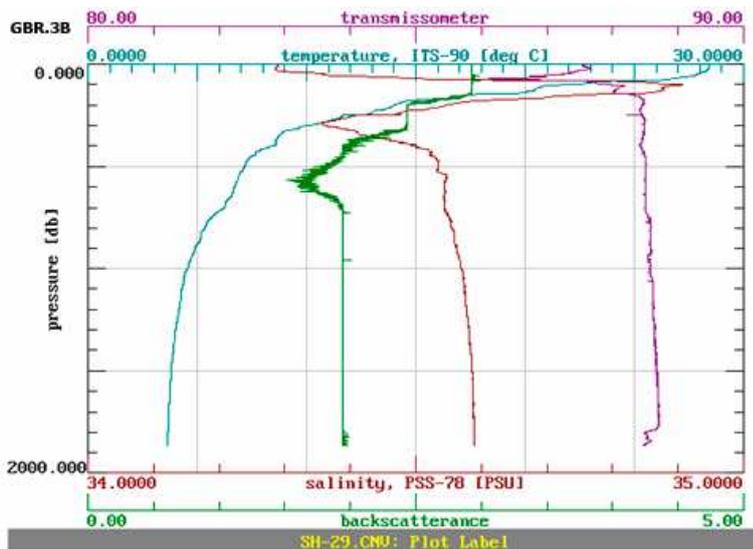
Untuk mendapatkan data yang diperlukan, dalam penelitian ini telah dilakukan pengukuran batimetri (Simrad EM-1000) dengan pengolah data Surver, CTD jenis SBE Seabird 911plus, pengambilan conto batuan dasarlaut (dredging dan coring), pengukuran gayaberat (Lacoste & Romberg) dan pengambilan foto bawahlaut. Tujuan kegiatan di atas adalah untuk mengidentifikasi adanya kegiatan hidrotermal atau gunungapi dasarlaut serta kemungkinan prospeksi pembentukan mineral logam ekonomis. Dalam ekspedisi kali ini dilengkapi juga alat gas kromatograf (CSIRO-EM, Sydney) untuk mendeteksi kandungan gas dan sifat fisik lainnya dari airlaut.

Operasi CTD (Current Temperature Depth) dimaksudkan untuk mendeteksi anomali sifat fisik airlaut akibat adanya influk material fluida dari suatu kegiatan gunungapi atau hidrotermal bawahlaut. Sifat yang diamati adalah salinitas, suhu dan kekeruhan dengan fungsi kedalaman. Dalam kegiatan 2003 telah dilakukan 7 kali operasi CTD di 5 lokasi yang berbeda, masing-masing satu operasi di

Maselihe, Roa dan Naung. Operasi CTD di Kawio Barat dan Banua Wuhu (2001) dilakukan sebanyak 3 station. Untuk validasi dan klarifikasi kegiatan hidrotermal atau gunungapi bawah laut, telah dilakukan analisis sifat fisik airlaut seperti kandungan gas metan, ph, Eh dan kandungan Mn. Teramatinya kandungan gas metan melebihi 25nl/lit menandakan adanya influk fluida kedalam airlaut. Berdasarkan data tersebut Kawio Barat, Roa dan Naung positif aktif secara hidrotermal. Tulisan ini mengacu pada laporan kegiatan Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI (2001, tidak terbit) dan Scientific Report. *Final Report of Submarine Metallogenic Resources and It's Management: Case of Sunda Strait and Northern Sulawesi Waters*. RUTI 1 Tahun Anggaran 2003, Tahap 2. KMNRT-Puslit Geoteknologi LIPI. (tidak diterbitkan)



Gambar (3a). Peta batimetri gunung Kawio Barat.



Gambar (3b). Profil Tx, Sx dan Lx versus kedalaman pada SH-29, SH-30 (3c) dan SH-31 (3d) di kawasan Kawio Barat.

HASIL KEGIATAN

Pemetaan batimetri dasarlaut telah memberikan gambaran adanya bentuk morfologi gunungapi dasar laut yaitu Maselihe (Target P), Kawio Barat (target Q), Roa (target R) dan Naung (target N). Pengukuran CTD dan analisa conto airlaut memberikan indikasi adanya kegiatan hidrotermal bawahlaut. Dari lima lokasi pengamatan, hanya Maselihe yang tidak mengindikasikan kegiatannya. Analisa batuan menunjukkan batuan dari Kawio Barat dan Banua Wuhu yang menunjukkan gejala mineralisasi.

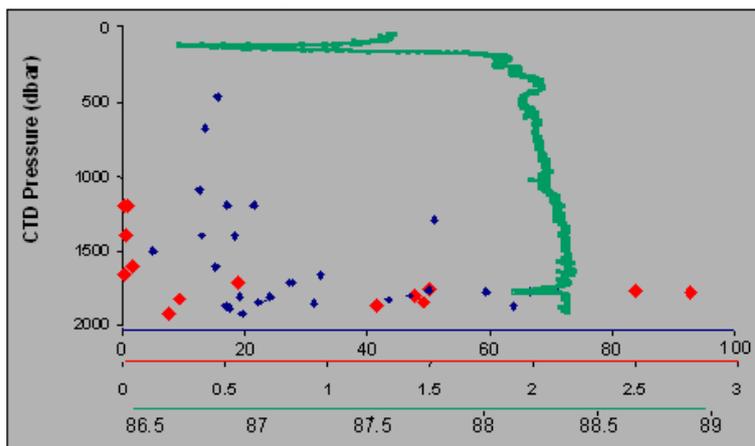
Kawio Barat

Kawio Barat terletak sebelah timurlaut Maselihe, sekitar 27km sebelah barat kepulauan Kawio (Gambar 1). Gunung tersebut terletak pada suatu lembah yang berarah utara-selatan (lembah busur belakang?) dengan kedalaman mencapai 5350m. Gunung dengan ketinggian hampir 3000m, bagian puncaknya berada pada kedalaman 1860m. Gunungapi Kawio Barat berbentuk kerucut sempurna, dimana bagian puncaknya dicirikan oleh morfologi halus, berupa aliran lava basal dikelilingi bagian kasar pada kaki-kakinya yang kemungkinan besar berupa breksi gunungapi. Ada lima bentuk depresi yang diperkirakan sebagai kawah parasitik (gambar 3a). Punggungan gunung tersebut berarah hampir baratlaut-tenggara paralel terhadap pola umum struktur di kawasan tersebut. Pada latar muka teramati adanya suatu kerucut yang kemungkinannya berupa "lava plug". Ke arah timur, gunung ini dibatasi oleh palung Catabato dengan kedalaman lebih dari 5000m (Gambar 1).

Tiga pengukuran CTD di Kawio Barat (Gambar 3b, c dan d) memperlihatkan suhu permukaan laut bervariasi antara 28.2°C sampai 29.4°C. Suhu airlaut turun dengan cepat pada kedalaman 300-400m dari 28.2°C ke 7-9°C dan secara perlahan dari 7°C ke 3°C mulai kedalaman 300-

400m sampai 1800-1850m. Profil salinitas menunjukkan peningkatan mulai 34.18-34.35psu ke 34.9psu pada kedalaman 100m kemudian menurun cepat ke 34.35psu pada kedalaman 300m. Salinitas relatif konstan pada 34.6psu dekat dengan dasar laut pada kedalaman 1850m. Variasi kekeruhan air laut (*light transmission/transmissometer*) teramati pada kedalaman 100m, dari nilai 80.7-80.75% pada permukaan airlaut sampai dengan 80.6-86.65% pada kedalaman 100m yang ditafsirkan hadirnya material halus dalam airlaut. Dari kedalaman 300m, "transmissometer" relatif konstan pada 80.83%. Pada kedalaman antara 1753m dan 1870m terdeteksi adanya anomali lemah "transmissometer" (Lx) sebesar 0.3-0.5%, bersamaan dengan anomali "backscatter". Hal tersebut menunjukkan adanya sumber cairan atau material yang kemungkinan berasal dari rekahan hidrotermal di daerah pengamatan. Gambar 4

Anak Kawio Hydrothermal Plume SH29-31

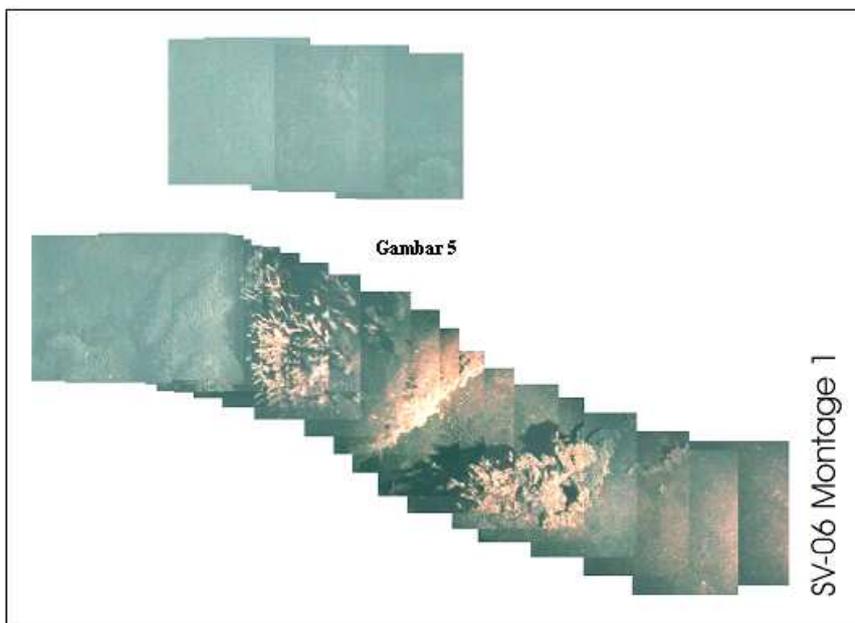


—◆— Methane (nl/l) —◆— Manganese (ug/l) — Transmission (%)

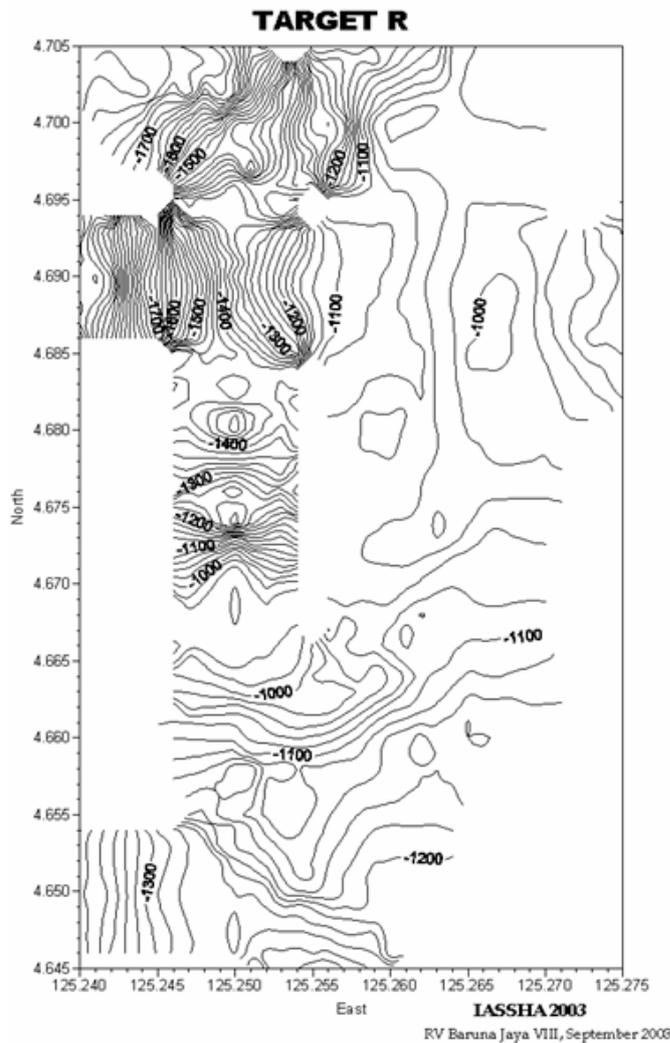
Gambar 4. Diagram hubungan antara transmissometer, kandungan gas metan dan Mn dalam airlaut. Pada kedalaman sekitar 1800-1900m (puncak gunung Kawio Barat 1860m) dicirikan oleh kenaikan signifikan kandungan gas metan, mangan dan anomali kekeruhan (transmissometer).

memperlihatkan diagram hubungan kandungan mangan, gas metan dan anomali kekeruhan dari SH-29, 30 dan 31 (Kawio Barat) yang mencerminkan adanya asupan material dari aktivitas hidrotermal bawah laut. Oleh karena itu dapat disimpulkan Kawio Barat masih dalam kondisi aktif.

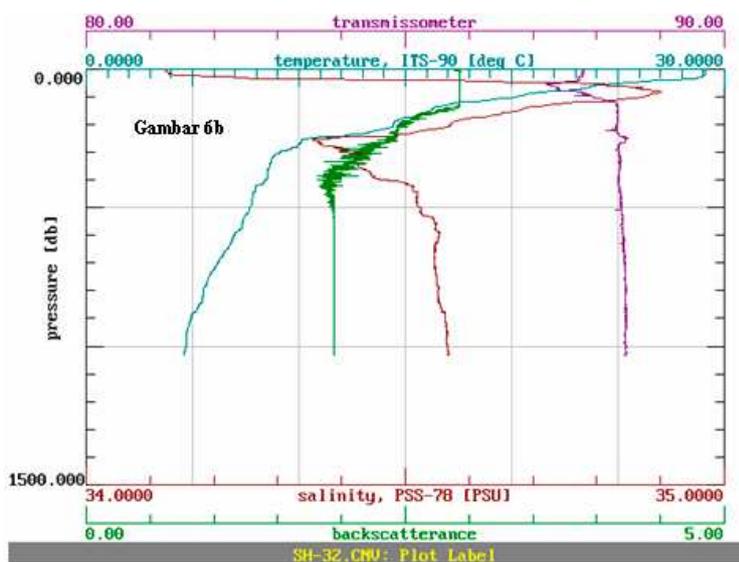
Batuan hasil dredging dari puncak Kawio Barat (SD-13, 14, 15 and SD-16) umumnya menampilkan batuan vulkanik dari jenis basalt piroksin. Batuan hampir seluruhnya tidak menunjukkan gejala alterasi dan mineralisasi kecuali contoh SD-15/4 ditunjukkan oleh pengendapan mineral sulfida (pirit dan markasit) dengan sedikit kandungan mineral karbonat sekunder. Kemungkinan, mineral opak Kawio Barat diendapkan langsung dari magma. Hasil Analisis kandungan logam



Gambar 5. Hasil montage rekaman kamera bawahlaut (SV-06) di gunung Kawio Barat. Arah lintasan kamera dari barat ke timur di lapangan. Pada bagian tengah terlihat rekahan dimana diperkirakan cairan hidrotermal muncul kepermukaan. Dibagian kiri dan kanan rekahan ditumbuhi suatu flora yang belum dideterminasi



Gambar (6a). Peta batimetri perbukitan Roa.



Gambar (6b). Profil Tx, Sx dan Lx versus kedalaman pada pengamatan SH-32 di kawasan Roa.

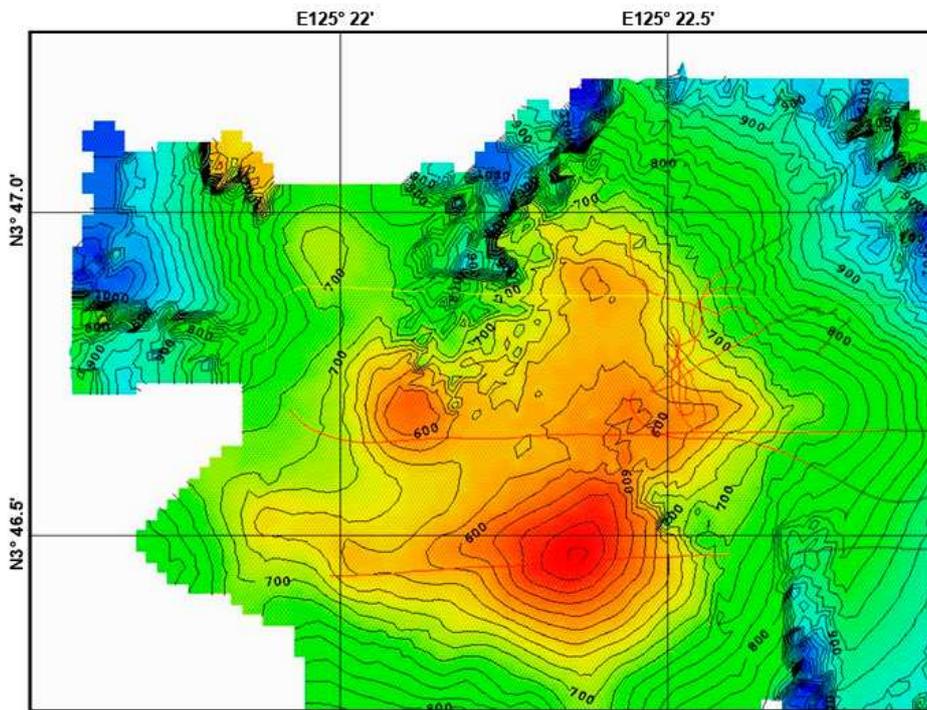
dari Kawio Barat berikut: Emas/Au (ppb): 65,1 dan 149; As (ppm): 30 dan 87,7; Zn (ppm): 218 dan 648

Pengambilan gambar bawahlaut dilakukan oleh peneliti dari CSIRO-DEM, Sydney. Dua kali operasi, SV-06 dan SV-07, tetapi hanya SV-06 yang berhasil mengambil gambar bawah permukaan dengan baik. Sementara itu, SV-07 tidak begitu berjalan dengan lancar akibat kerusakan baterai. Operasi SV-06 telah berhasil merekam rekaman bawah laut dimana kemungkinan gas metan muncul dipermukaan dasarlaut. Di sekitar rekaman ditumbuhi biota yang belum dikenal jenisnya, begitu pula banyak fauna seperti ikan atau sejenis udang teramati. Banyaknya biota ini menunjukkan adanya kecukupan nutrisi dan suhu yang relatif hangat dibandingkan dengan sekitarnya. Hasil rekaman bawah laut disajikan dalam gambar 5 berupa gambar hasil montage.

Roa atau target R

Target R atau Roa, terletak disebelah timur Kawio Barat, merupakan perbukitan sejajar dengan palung, berarah utara-selatan (Gambar 6a). Perbukitan dengan kedalaman sekitar 1000-1200m dengan titik terdangkal 900m. Morfologinya dicirikan oleh perbukitan bergelombang yang relatif kasar, dapat merupakan produk vulkanik atau dapat pula berupa koral. Pada sisi timurnya dicirikan oleh suatu lereng yang sangat curam. Tiga buah bentuk depresi ditepi lereng tersebut diperkirakan sebagai kawah (Gambar 6a). Palung Coatabto memisahkan gunung Kawio Barat dengan perbukitan Roa dengan kedalaman lebih dari 5000m. Palung berarah utara-selatan mulai dari selatan Filipina sampai sekitar kepulauan Kawalusu. Ke arah selatan palung tersebut tertutup produk gunungapi busur Sangihe. Gambar 2 memperlihatkan Kawio Barat yang dipisahkan oleh palung Cotabato dari perbukitan Roa.

Satu pengukuran CTD (SH-32) di kawasan Roa menunjukkan (Gambar 6b) suhu permukaan



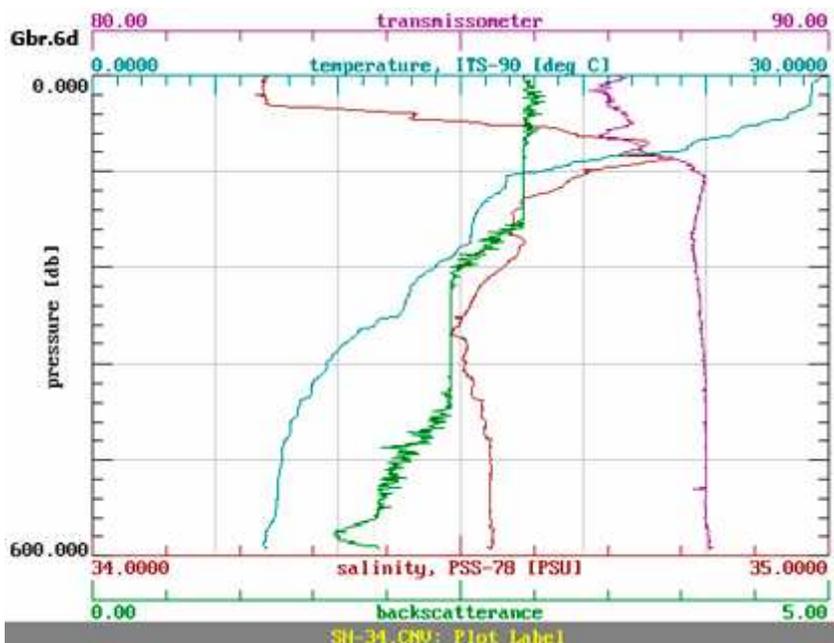
Gambar (6c). Peta batimetri 2D perbukitan Naung.

maksimum pada 29°C. Suhu menurun drastis dari 28°C pada kedalaman 50m ke 10°C pada kedalaman 500 m. Kemudian mulai dari kedalaman 500m sampai 1000m, suhu menurun perlahan dari 10°C to 4.8°C. Pada SH-32, nilai minimum salinitas teramati pada permukaan laut dengan nilai 34.15psu, sementara nilai

bawahlaut, walaupun teramati adanya anomali lapisan airlaut pada kedalaman 200-300m, tetapi mungkin hal ini disebabkan adanya aliran air tawar.

Naung atau target N

Target Naung telah diidentifikasi pada kegiatan penelitian 2001. Dalam kegiatan 2003, kembali dilakukan pemetaan lebih detil di kawasan tersebut. Target Naung terletak sekitar 30km sebelah barat laut dari gunungapi Awu di pulau Sangihe. Morfologi perbukitan Naung dicirikan oleh suatu lengkungan yang terbuka ke arah barat laut. Pada bagian puncaknya dicirikan oleh morfologi halus yang diperkirakan sebagai lava sedangkan tepinya berupa breksi gunungapi dengan tekstur kasar. Perbukitan Naung berdiri dari kedalaman 1000m dengan tinggian mencapai kedalaman 500m (Gambar 6c). Beberapa puncak berderet



Gambar (6d). Profil Tx, Sx dan Lx versus kedalaman pada pengukuran CTD SH-34 di kawasan Naung.

berarah baratlaut-tenggara sejajar dengan pola umum struktur kelurusan.

Kecuali temperatur, pengukuran CTD memperlihatkan kondisi bervariasi sampai pada kedalaman 100m. Suhu permukaan laut sekitar 29.8°C dan turun secara cepat sampai 17°C pada kedalaman 200 m (Gambar 6d). Suhu menurun secara perlahan sampai 13°C pada kedalaman 300m. Mulai kedalaman 400m suhu menurun perlahan dan relatif konstan sampai dekat permukaan dasar laut pada 7°C. Profil salinitas menunjukkan kenaikan cepat mulai 34.22psu di permukaan sampai 34.8psu pada kedalaman 100m. Salinitas menurun cepat ke 34.5psu pada kedalaman 300m, kemudian relatif tetap sekitar 34.55psu dekat dengan dasar laut pada kedalaman 600m. Profil transmissometer sementara itu memperlihatkan nilai bervariasi tetapi tidak menunjukkan adanya anomali. Dapat disimpulkan dari ketiga profil itu tidak menunjukkan adanya kegiatan di dasar laut

Batuan dari Naung (melengkapi data 2001) disusun oleh tuf kristalin dan andesit hornblenda. Tidak dijumpai indikasi alterasi maupun mineralisasi. Walaupun Naung dan Kawio Barat relatif sejajar dan dekat, tetapi jenis batuan sedikit berbeda. Di Naung didominasi batuan berkomposisi andesit hornblenda sedangkan batuan Kawio Barat berupa basalt piroksen.

Banua Wuhu

Indikasi kegiatan hidrotermal bawah laut di kawasan perairan busur kepulauan Sangihe antara lain di Banua Wuhu berupa alterasi mineral dan pengendapan mineral sulfida. Sementara itu pengendapan mineral sulfida di Kawio Barat tidak disertai dengan alterasi. Oleh karena itu, untuk yang terakhir kemungkinan pengendapan mineral sulfida langsung dari magma tanpa melalui interaksi dengan batuan samping. Aktivitas hidrotermal Banua Wuhu ditunjukkan oleh tingginya kandungan metan dan Mn. Dapat digambarkan bahwa mineralisasi Kawio Barat berhubungan langsung dengan sumber magma berbeda dengan sisitim yang ada di Banua Wuhu. Walaupun demikian masih harus diperhitungkan dalam kasus ini peranan airlaut. Morfologi Banua Wuhu diperlihatkan pada gambar 7.

Batuan hasil dredging dari lereng barat pulau Banua Wuhu didominasi batuan andesit

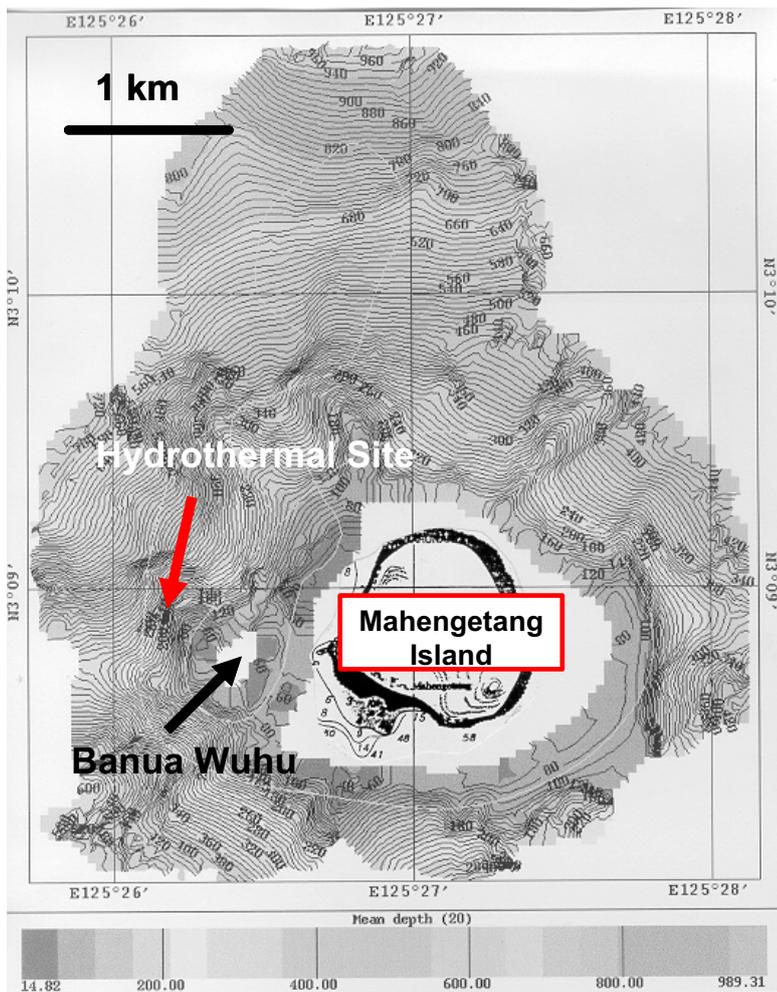
hornblenda. dicirikan oleh adanya mineral ubahan seperti. Ubahan mineral dicirikan oleh hadirnya mineral sekunder berupa lempung, karbonat, klorit dan opak. Kehadiran imineral tersebut menunjukkan batuan berubah dalam zona propilitik (Laporan Akhir RUTI 1,2003, tidak diterbitkan). Diantara mineral ubahan teramati adanya diseminasi butiran halus pirit dan kalkopirit. Hasil analisa terhadap kandungan logam (CSIRO-EM, Sydney, tidak diterbitkan, 2001) menunjukkan kandungan emas/Au (ppb): 5-29; Cu: 17-27ppm, dan Zn: 52-79ppm.

Gambaran umum menunjukkan batuan dasar laut bervariasi mulai dari basalt piroksin, andesit piroksin dan andesit hornblenda, basalt dan batuan berubah mulai dari Banua Wuhu, Naung, Sangihe Muda dan Kawio Barat.

KESIMPULAN dan DISKUSI

Hasil ekspedisi kelautan IASSHA di kawasan perairan bagian barat kepulauan Sangihe telah menemukan adanya gunung api bawah laut yaitu Kawio Barat. Penemuan ini menunjukkan bahwa lempeng laut Maluku dikawasan tersebut sebenarnya masih aktif, seperti halnya indikasi hidrotermal bawah laut di daerah Roa. Hal tersebut membantah hipotesa Hamilton (1979) bahwa lempeng kegiatan vulkanisme di atas 4°N tidak aktif. Gejala hidrotermal bawah laut di daerah Naung kemungkinan besar dikontrol oleh kelurusan struktur seperti yang dihipotesakan oleh Permana et al. (2003). Indikasi hidrotermal di Banua Wuhu merupakan klarifikasi dari penelitian yang telah dilakukan oleh Tomascik et al. (1977).

Jenis batuan di busur kepulauan Sangihe relatif kurang bervariasi. Batuan antara lain basalt, basalt piroksin, andesit hornblenda sampai andesit. Demikian pula kajian unsur tanah jarang dan unsur jejak menunjukkan keseragaman relatif (Laporan Final RUTI 1 tahap 2, tidak diterbitkan). Hanya ada dua kelompok batuan, yaitu batuan yang dekat dengan busur utama seperti Mahengetang, Banua Wuhu, Naung dan Kawio Barat, dicirikan oleh kenaikan moderat dari HREE menuju LREE. Karakter geokimia menunjukkan bahwa semuanya produk gunung api tersebut terbentuk dalam lingkungan zona subduksi dalam hal ini Lempeng Laut Maluku yang menjam di bawah lempeng laut Sulawesi.



Gambar 7. Kegiatan hidrotermal Banua Wuhu, terletak sebelah barat pulau Mahengetang, dicirikan oleh morfologi sangat kasar yang diperkirakan sebagai breksi vulkanik. Banua Wuhu diperkirakan sebagai kawah parasitik dari Mahengetang.

Gejala mineralisasi hanya dijumpai di Kawio Barat dan Banua Wuhu. Di lokasi pertama ditunjukkan pengendapan mineral sulfida berupa pirit dan markasit dengan sedikit kandungan mineral karbonat sekunder. Kandungan logam dari Kawio Barat adalah seperti berikut: Emas/Au (ppb): 65,1 dan 149; As (ppm): 30 dan 87,7; Zn (ppm): 218 dan 648. Kemudian di lokasi kedua ubahan batuan dicirikan mineral sekunder antara lain lempung, karbonat, klorit dan opak. Pengendapan mineral opak diantara mineral ubahan antara lain diseminasi butiran halus pirit dan kalkopirit dengan kandungan logam emas/Au (ppb): 5-29; Cu: 17-27ppm, dan Zn: 52-79ppm. Data sementara ini menunjukkan kandungan logam ekonomis Kawio Barat lebih

tinggi. Hasil awal ini membuktikan hadirnya mineral sulfida dan emas serta gunungapi bawah laut seperti yang telah diindikasikan sebelumnya (Hardjawidjaksana dan Kristanto, 2001).

Mineralisasi dan gunungapi bawah laut di kawasan kepulauan Sangihe merupakan langkah awal yang perlu ditindaklanjuti. Genesa mineralisasi terkait dengan model geologi dalam lingkungan zona subduksi. Variasi jenis batuan, mulai dari jenis batuan menengah sampai basa yang berasal dari lingkungan busur sampai busur belakang dipengaruhi langsung oleh lempeng yang menunjam dan batuan samping yang diterobosnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kapuslit Geoteknologi LIPI dan Pimpro SDA TA 2003 yang telah memberikan kesempatan melakukan kegiatan tersebut. Program RUTI I Marine Science (TA 2002-2004) turut berkontribusi dalam pengolahan dan analisa data kimia. Juga terima kasih disampaikan pada Kapten BJ VIII beserta ABK yang telah memungkinkan kegiatan tersebut berjalan lancar. Kepada seluruh peneliti yang terlibat, baik langsung maupun tidak kami ucapkan terima kasih atas partisipasinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Apandi, T. and Bachri, S. 1997, *Geology map of Kotamobagu sheet, Sulawesi. Scale 1:250.000*. GRDC, Bandung.
- Cardwell R.K. and Isacks B.L. 1981, *A review of the configuration of the lithosphere subducted beneath the eastern Indonesian and Philippine Islands*. The geology and tectonics of Eastern Indonesia, Geological Research and Development Centre, Spec. Publ. No. 2, pp. 31-47.
- Efendi, A.C. and Bawono, S.S. 1997, *Geology map of Manado sheet, Sulawesi, Scale 1:250.000*. GRDC, Bandung.

- Hardjawidjaksana, K and. Kristanto, N.A . 2001, *Peta penyebaran indikasi endapan mineral logam di kepulauan Sangihe, Tomini dan laut Flores*. PPGL.
- Hall, R., 1996, Reconstructing Cenozoic SE Asia. Geological Society Special Publication, v. no. 106, p. p. 153 - 184.
- Hamilton, W. 1981, Subduction in the Indonesian Region. In Island Arc: deep sea trench and back arc basin. Am. Geoph. Union. Talwani M. ed, Walter C. Pitman III, Maurice Ewing series I. Washington DC. 2nd printing. P.15-31
- Hamilton, W. B. 1979, Tectonic of Indonesian region. Denver, US.S Govern. Printing office, 345 p.159-195
- McCaffrey R. 1982, Lithospheric deformation within the Molluca sea arc-arc collision : Evidence from shallow and intermediate earthquake activity. Journal of Geophysical Research, vol.87, no.B5, pp.3663-3678.
- Monnier, C., Girardeau, J., Maury, R.C. and Cotten, J., 1995. Back-arc basin origin for the East Sulawesi ophiolite (eastern Indonesia). Geology, v. 23 ; no. 9
- Murauchi, S., Ludwig, W.J., Den, N., Hotta, H., Asanuma, T., Yoshii, T., Kubotera, A., and Hagiwara, K. 1973, Structure of the Sulu Sea and the Celebes Sea. J. Geophy. Res., 78(17):3437-3446.
- Permana, H., Burhanuddin, S., Zulkarnain, I., Priadi. B. and Hananto N.D.. 2003, *Structural Pattern Control to Possible Submarine Hydrothermal Activity of Sangihe Arc: note for the IASSHA 2003, Cruise*. Seabed Hydrothermal Systems of the Western Pacific. Current Research & New Directions, 25th – 26th June 2003. CSIRO Riverside Auditorium, Riverside Corporate Park North Ryde – NSW.
- Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI. 2001, *Pengolahan Data Hasil Penelitian/ Ekspedisi Endapan Hidrotermal Gunung Api Bawah Laut Di perairan Teluk Tomini dan Sangir-Talaud, Sulawesi. Laporan Akhir*. Tidak Diterbitkan.
- Rangin, C and Silver, E. 1990, *Geological Setting of the Celebes and Sulu seas*. Proc. Of the ODP. Initial Reports, vol. 124; p.35-42.
- Scientific Report. *Final Report of Submarine Metallogenic Resources and It's Management: Case of Sunda Strait and Northern Sulawesi Waters*. RUTI 1 Tahun Anggaran 2003, Tahap 2. KMNRT-Puslit Geoteknologi LIPI. (tidak diterbitkan)
- Silver E., von Breymann MT., 1991, (eds.), Proc. Ocean Drilling Program, Initial reports, vol 124, pp.35-41. (No-6)
- Silver, E.A. and Moore, J.C. 1981, The Molucca sea collision zone, Indonesia. In The geology and Tectonics of eastern Indonesia. The geology and tectonics of Eastern Indonesia, Geological Research and Development Centre, Spec. Publ. No. 2, pp. 327-340.
- Silver, E.A., Rangin C., von Breymann, M.T., et al. 1991, *Proceeding of the ODP*. Scientific Result, vol. 124.
- Sri Widiyantoro and Rob van der Hilst. 1996, Structure and Evolution of Lithospheric Slab Beneath the Sunda Arc, Indonesia. Science. Vol. 271. P1566-1569.
- Sri Widiyantoro and Rob van der Hilst. 1997, *Mantle structure beneath Indonesia inferred from high-resolution tomographic imaging*, Geophys. J. Int. vol.130. p167-182.
- Tomascik T, Mah AJ., Nontji A. and Moosa MK., 1977, *The Ecology of the Indonesian Seas, Part-I, Chapters 1-12*, Periplus Editions, UNSW Press Ltd., pp.44-47; 529-537; 542-565.