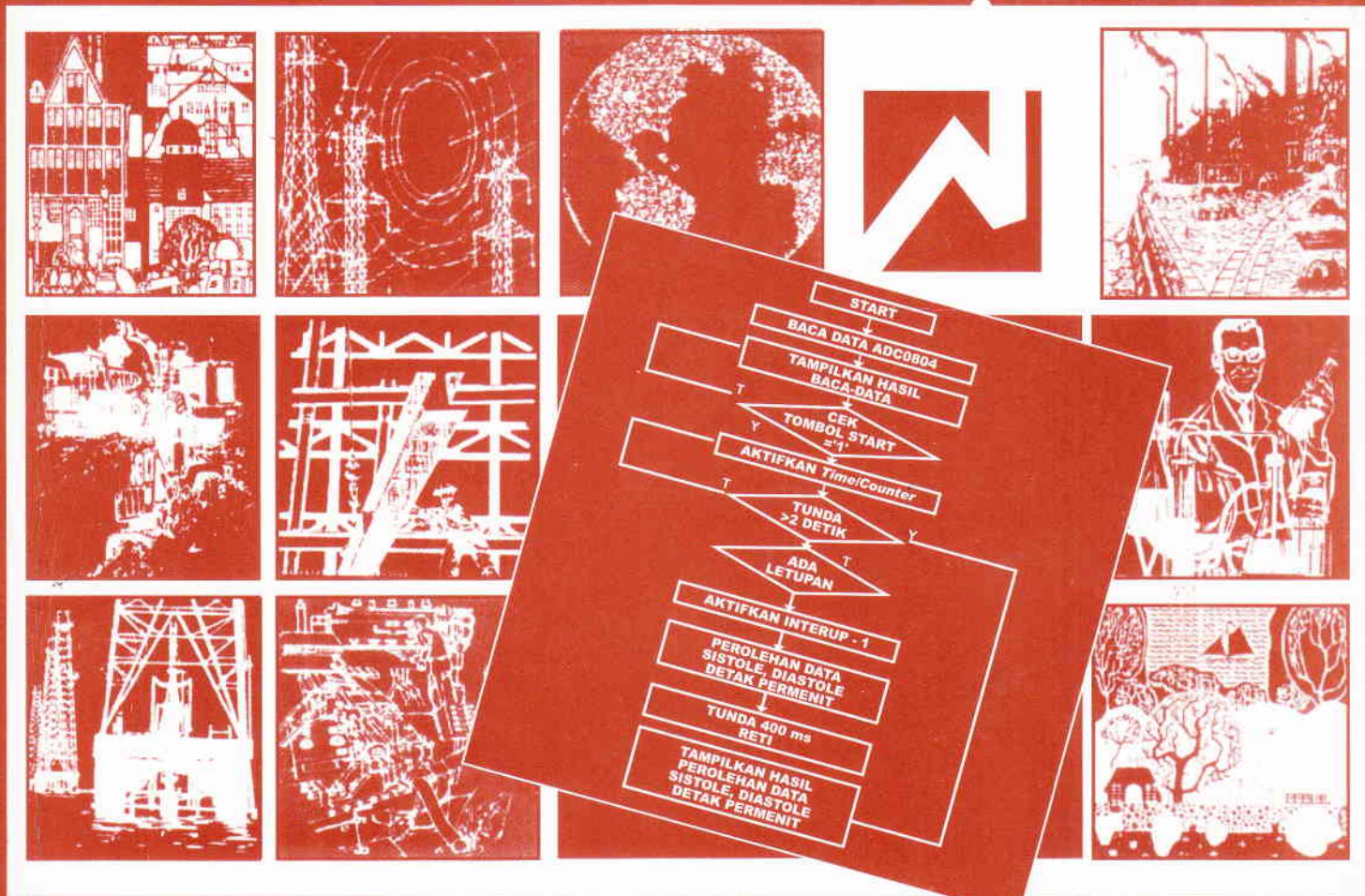


WAHANA TEKNIK



JURNAL ILMIAH BIDANG KETEKNIKAN ANTAR PERGURUAN TINGGI SWASTA DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

VOL. 5 No. 3 Desember 2003

GEOLOGI DAN UMUR BATUAN VOLKANIK DAERAH BERASTAGI DAN SEKITARNYA

Sutanto

Abstract: Area of Berastagi laid in north part of Sumatra about 25 km north side of Toba Lake, tectonically, represents the part of bow of Sunda Mountain. Movement of Indies plate against Sumatra shaping an angle about 45° causes fault of dextral Semangko and less active volcanoes in Sumatra compared to Java. Volcanoes in Sumatra have composition of andesitik, dasityc, and riolytic with affinity of kalk-alkali and kalk-alkali potasik. Tapanuli group which consist of Bohorok formation, Kluet formation, and Pallet formation, and also Kuala formation and Batumilmil formation from the group of Peusangan represent pre-tertiary bedrock underlying directly volcanic rock of Sinabun-Sikayak area. Beside, tertiary rock formation is not located in this area. The age of radiometric of volcanic rock around the Toba Lake ranges from $5,6 \pm 0,14$ and $0,38 \pm 0,11$ Ma. The oldest rock is microdiorit (in Parapat), and the youngest is Toba riolytic Tufa. Mount of Sibayak, Mount of Pintal, and Mount of Pratektekan represent center of quarter volcano activities located within Singkut Calderas.

Kata-kata Kunci: Geologi, Batuan Vulkanik, dan Umur Radiometrik.

1. PENDAHULUAN

Gunungapi Sibayak dan Sinabun merupakan dua gunungapi berumur kwarter yang terletak tidak jauh dari Danau Toba, akan tetapi batuan yang dihasilkan sangat berbeda dengan batuan seumur di Sumatra, Jawa, dan Tufa Toba. Penyebab perbedaan ini bias jadi disebabkan oleh variasi batuan dasar, jenis dan tingkat evolusi magma, dan kemungkinan juga dipengaruhi oleh struktur geologinya.

Penelitian lapangan, analisis petrografi, penanggalan radioaktif serta kajian pustaka yang membahas tentang batuan vulkanik, batuan dasar dan struktur geologi yang berkenaan dengan daerah sekitar Gunungapi Sibayak ataupun yang bersifat regional disajikan dalam tulisan ini. Hasil kajian ini diharapkan menambah acuan tentang geologi khususnya yang berhubungan dengan tektonik dan gunungapi daerah Gunung Sibayak dan sekitarnya dan tentu saja akan menjadi bahan diskusi untuk para peneliti berikutnya.

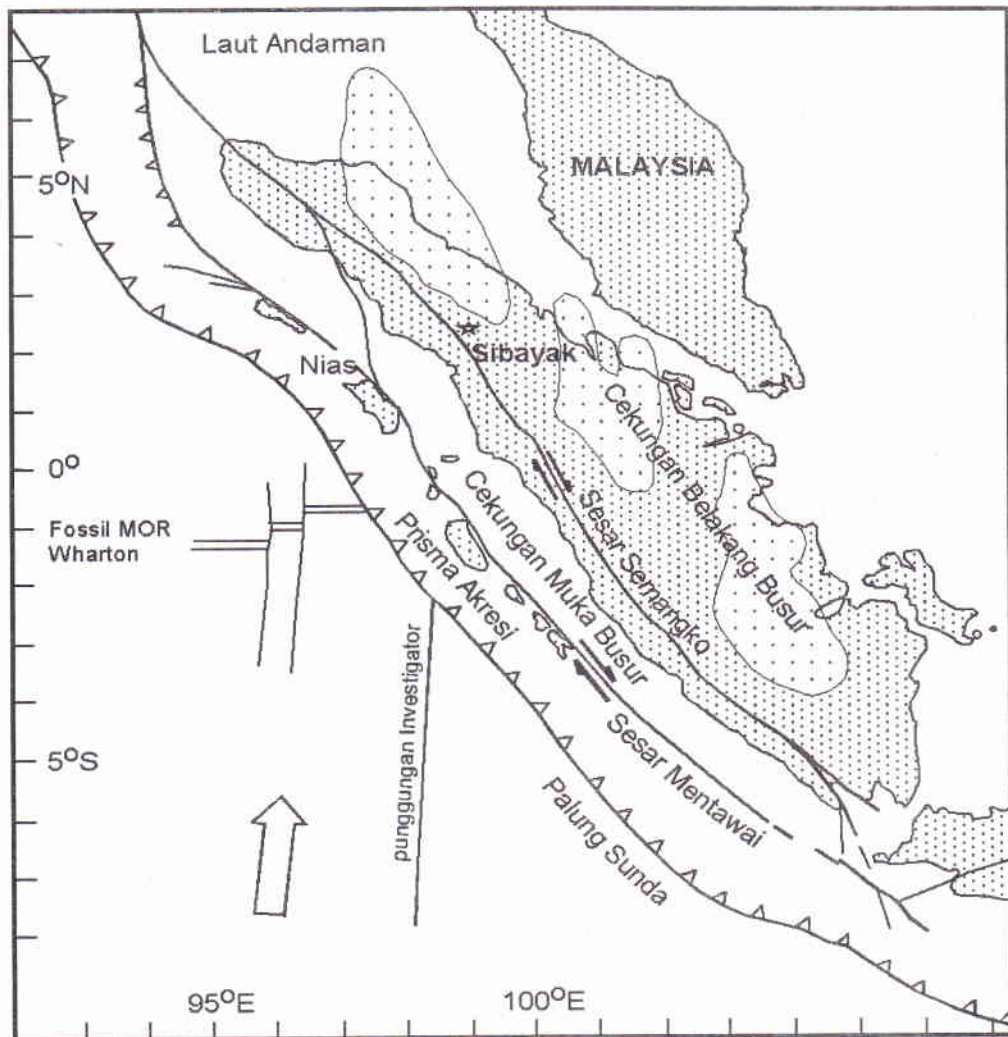
2. GEOLOGI REGIONAL

2.1. Kerangka Tektonik

Daerah Berastagi di mana Gunung Sibayak dan Sinabun berada, terletak pada bagian utara Pulau Sumatra kurang-lebih 25 km disebelah utara

Sutanto adalah Staf Pengajar Jurusan Teknik Geologi, Universitas Pembangunan Nasional (UPN) "Veteran", Condongcatur, Yogyakarta.

Danau Toba. Pulau Sumatra merupakan bagian baratdaya dari Asia Tenggara di mana lempeng litosferik Samudera Hindia menunjam dengan sudut sekitar 45° ke bawah Pulau Sumatra dengan arah $N 20^\circ E$, dengan kecepatan berkisar antara 5 - 7 cm per tahun (Sclater & Fisher, 1974; Karig *et al.*, 1980; dan Daly *et al.*, 1991). Zona Benioff dapat dikenali hingga kedalaman 350 km, dengan sudut 45° ke arah timurlaut dibawah Sumatra (Newcomb & McCann, 1987 dan Widiyanto & Van der Hilst, 1996). Sistem konvergen tersebut memberikan elemen-elemen tektonik berupa palung, prisma akresi, cekungan sedimentasi depan busur, busur gunung api, dan cekungan sedimentasi belakang busur (Karig *et al.*, 1978; Hamilton, 1979; dan Moore *et al.*, 1982) (Gambar 1.). Rangkaian gunungapi di mana daerah Berastagi berada tersebar sejajar dengan palung dan terletak pada bagian tengah Pulau Sumatra pada zona sesar Semangko. Sesar ini aktif paling tidak sejak Miosin akhir (de Coster, 1974 dan Karig *et al.*, 1980) hingga sekarang (Katili & Hehuwat, 1967; Hahn & Weber, 1981; dan Bellier & Sébrier, 1995).



Gambar 1. Peta tektonik Sumatra yang memperlihatkan kerak Samudera Hindia bergerak ke utara dengan kecepatan 5-7 cm per tahun

2.2. Efek Struktur dan Magmatik pada Penunjaman Miring

Gambar 1. memperlihatkan bahwa pergerakan lempeng Hindia terhadap Sumatra miring, membentuk sudut sekitar 45° . Efek lateral dari tumbukan miring dimanifestasikan oleh pergeseran dextral sesar Semangko. Bagian barat dari sesar yang disebut lempeng Birma (Mitchell, 1993) bergeser ke utara dengan kecepatan 3,7 sampai 4,8 cm/tahun (Curry, 1989). Pembentukan cekungan sedimen belakang busur dan terbukanya Laut Andaman didahului oleh penipisan kerak pada awal tersier yang kemudian diikuti pengendapan sedimen 4000 sampai 6000 m pada cekungan Sumatra Selatan tengah dan utara, sementara di Laut Andaman, penipisan kerak diikuti dengan pembentukan kerak samudera pada kala Miosin tengah (Curry, 1989).

Bila dibandingkan dengan Pulau Jawa, gunungapi aktif di Sumatra jauh lebih sedikit. Di Pulau Sumatra, gunungapi aktif dan manifestasi hidrotermal terutama terletak pada zona sesar Semangko, seperti di daerah-daerah Tarutung-Sipirok, Kerinci, Sekincau-Suoh-Antatai (Sauri & Fauzi, 1991) dan secara sistematis semakin jarang ke arah utara. Dari Danau Toba, ke utara, tempat pemunculan gunungapi bergeser ke timur dan menempati sayap (bagian) timur Bukit Barisan. Puncak Bukit Barisan (3381) bukan ditempati gunungapi tetapi berupa batuan metamorf dan sedimen yaitu Gunung Loser (Page *et al.*, 1979). Gunungapi yang muncul mempunyai komposisi andesitik, dasitik dan riolitik, dengan afinitas kalk-alkali dan kalk-alkali potasik (Hutchison, 1981; 1982).

3. ANALISIS LABORATORIUM

Analisis laboratorium meliputi analisis petrologi dan penentuan umur. Pengenalan tekstur, komposisi mineral, dan penamaan batuan dilakukan dengan analisis petrografi di laboratorium Jurusan Teknik Geologi Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta dengan menggunakan mikroskop polarisasi, sedang analisis penentuan umur batuan dilaksanakan di Laboratorium Geokronologi UBO, Brest, Perancis.

3.1. Penanggalan Radiometrik $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$

Metode penanggalan potassium-argon berpedoman prinsip disintegrasi radioaktif secara alamiah dari unsur ^{40}K menjadi ^{40}Ar . Potassium mempunyai tiga isotop, yaitu: ^{41}K , ^{40}K , ^{39}K . ^{40}K adalah sebuah isotop radioaktif dan juga kurang melimpah di alam ($^{39}\text{K} = 93,2581\%$; $^{40}\text{K} = 0,01167\%$; $^{41}\text{K} = 6,7302\%$), desintegrasinya ("branching decays") akan melahirkan dua elemen, yaitu: ^{40}Ar (11,0%) dan ^{40}Ca (88,8%). ^{40}Ca terbentuk oleh emisi partikel β^- . Apabila inti (atom) melepaskan sebuah elektron dari "kulit-K", unsur tersebut berdesintegrasi menjadi ^{40}Ar . Unsur yang baru terbentuk tersebut dalam keadaan tidak stabil, dan akan mencapai keadaan stabil setelah memancarkan partikel γ . Pasangan $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ digunakan untuk penanggalan.

Keuntungan metode ini adalah: unsur K melimpah pada kerak, hampir dalam setiap mineral pembentuk batuan, periode desintegrasinya adalah $1,31 \times 10^9$ tahun, oleh karenanya metode ini bisa digunakan untuk penanggalan contoh-contoh batuan yang berumur sangat tua sampai yang muda. Hal yang kurang menguntungkan adalah bahwa pembentukan Argon tergantung keadaan sistem termik: pada saat pendinginan mineral di mana Argon akan tersimpan. Jika ada pemanasan lagi (proses metamorfosa misalnya) maka Argon dapat meninggalkan sistem tersebut. Hal semacam inilah yang bisa menyebabkan kesalahan dalam penentuan umur suatu contoh, sehingga metode ini sangat sulit dipakai untuk batuan polimetamorf. Tetapi sangat baik untuk batuan vulkanik yang mempunyai pendinginan cepat.

Dalam penelitian ini, penanggalan dilakukan pada batuan (whole rock) dengan ukuran granulometrik 0,50 - 0,16 mm, (kecuali untuk Tufa Toba juga dianalisis biotit dan feldsparnya), pengukuran ^{40}Ar , ^{36}Ar , dan ^{38}Ar dengan menggunakan spektrometer massa THOMSON CAMECA 205 SE (Bellon et al, 1981). Sedang K_2O dinyatakan dalam % berat dan pengukurannya menggunakan metode AAS. Hasil analisis penanggalan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Umur radiometrik K/Ar, batuan vulkanik dari kompleks Sibayak dan dari sekitar Danau Toba

Lokasi	Batuan	Umur	Sumber
Toba	tuf riolitik	$1,2 \pm 0,2 \text{ Ma}$	Chesner & Rose (1991)
Toba	tuf riolitik	$73 \pm 4 \text{ ka}$	
Sibayak	lava andesit	$0,48 \pm 0,1 \text{ Ma}$	Penelitian ini
Singkut	lava andesit	$2,09 \pm 0,2 \text{ Ma}$	
Dolok Singgalang	lava andesit	$0,52 \pm 0,1 \text{ Ma}$	
Sipiso-piso	dome lava	$1,89 \pm 0,2 \text{ Ma}$	
Tufa Toba	tuf riolitik (rt)	$0,63 \pm 0,1 \text{ Ma}$	
	tuf riolitik (fds)	$0,38 \pm 0,1 \text{ Ma}$	
	tuf riolitik (bio)	$1,81 \pm 0,1 \text{ Ma}$	
Haranggoal	lava andesit basik	$2,9 \pm 0,1 \text{ Ma}$	
Parapat	mikro diorit	$5,7 \pm 0,1 \text{ Ma}$	

Umur radiometrik batuan vulkanik di sekitar Danau Toba (meliputi Tufa Toba Gunung Sibayak dan Sinabun, kubah lava Dolok Singgalang dan Sipiso-piso, dan vulkanik Haranggoal) berkisar antara $5,6 \pm 0,14$ (Messinian) dan $0,32 \pm 0,13 \text{ Ma}$ (Calabrian). Batuan tertua merupakan intrusi mikrodiorit yang memotong batuan dasar pre-tercier di kota Parapat, kemudian batuan vulkanik Haranggoal ($2,9 \pm 0,07 \text{ Ma}$), dôme Sipiso-piso ($1,9 \pm 0,23 \text{ Ma}$), dan dôme Dolok Singgalang ($0,52 \pm 0,53 \text{ Ma}$). Umur Tufa Toba berkisar antara $1,2 \pm 0,16 \text{ Ma}$ dan $0,074 \text{ Ma}$ ($74 \pm 3 \text{ ka}$ Singapura dan $73 \pm 4 \text{ ka}$ di Pulau Samosir) (Chesner & Rose, 1991). Umur dari kompleks Gunungapi Sibayak adalah $2,1 \pm 0,3 \text{ Ma}$ (lava andesit Gunung Simacak dan bagian barat Gunung Singkut) dan $0,48 \pm 0,11 \text{ Ma}$ (lava andesit Gunung Sibayak).

4. GEOLOGI DAERAH BERASTAGI DAN SEKITARNYA

4.1. Batuan Dasar Pre-Tersier

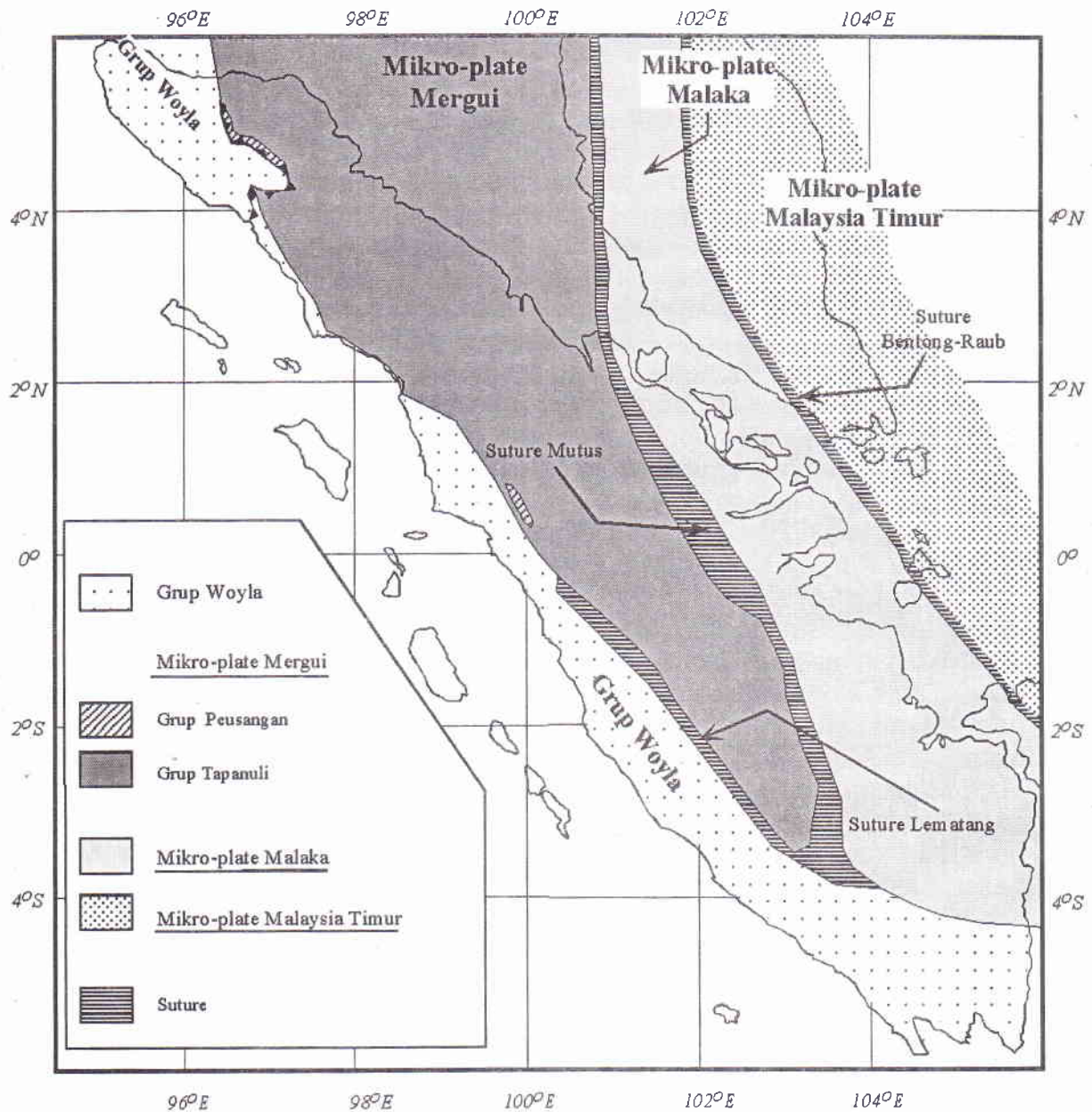
Batuan berumur pre-tercier merupakan batuan yang mendasari kompleks Gunungapi Sibayak. Batuan tersebut secara regional terdiri atas formasi Bohorok, formasi Kluet dan formasi Alas yang semuanya termasuk grup Tapanuli, serta formasi Kuala dan formasi Batumilmil dari grup Peusangan. Formasi Alas yang terdiri atas batugamping massif dan marmer tersingkap di pegunungan Bukit Barisan sebelah barat kota Sidikalang, sedangkan formasi Bohorok yang terutama disusun oleh greywacke dan conglomerate tersingkap di sebelah timurlaut kota Parapat; sementara formasi Kluet yang terdiri atas argilit, berbagai jenis batugamping, batupasir dan konglomerat terutama tersingkap di pegunungan Bukit Barisan. Sebuah singkapan batugamping bioklastik di Desa Pangurusan, di tepi barat Danau Toba mengandung bryozoa, brachiopoda dan crinoid yang mengidentifikasi umur akhir Karbon hingga awal Perm (Aldiss *et al.*, 1983). Singkapan formasi Kuala terdapat di tepi timur Danau Toba terdiri atas serpih hitam, batulanau, dan batupasir. Satuan ini mengandung fosil amonit yang menunjukkan umur Trias Tengah hingga Trias Akhir (Aldiss *et al.*, 1983).

Dari singkapan-singkapan batuan serta data bawah permukaan, penyebaran batuan pre-tercier di Sumatra dikelompokkan menjadi grup Woyla, Mikro plate Mergui yang terdiri atas grup Peusangan dan grup Tapanuli, Mikro plate Malaka, serta Mikro plate Malaysia Timur (Gambar 2). Di Sumatra Utara grup Woyla dijumpai pada sumur pemboran Lakota di lepas pantai sebelah barat laut kota Sibolga. Cameron *et al.* (1980) menganggap bahwa sebagian besar batuan dasar yang disusun oleh grup Tapanuli dan Peusangan di wilayah Sumatra bagian utara dan tengah merupakan benua mikro Mergui yang berbatasan dengan zona sutur Woyla dan Mutus masing-masing di bagian barat dan timurnya.

4.2. Formasi Batuan Kenozoik

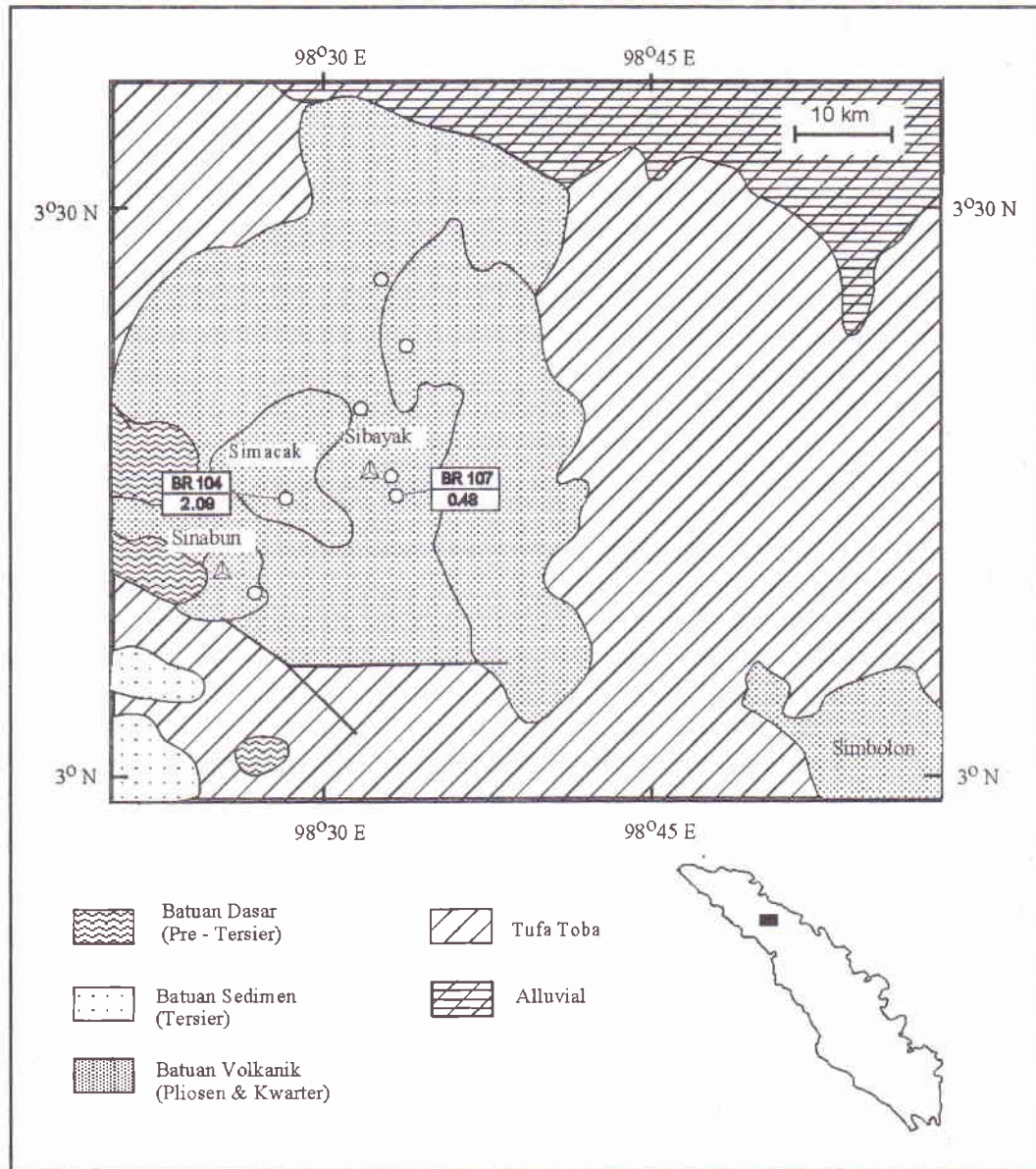
Kompleks Sibayak hingga Danau Toba terletak antara cekungan Sumatra Utara dan cekungan Sumatra Barat yang terisi batuan sedimen berumur Oligosin akhir hingga Plestosin (Cameron *et al.*, 1980 dan Aldiss *et al.*, 1983). Endapan batuan vulkanik hasil aktivitas gunungapi kwarter dari kompleks Sibayak, Sinabun, beberapa lava dome (Dolok Simbolon, Dolok Sipiso-piso, Dolok Singglang, dll), Tufa Toba serta batuan vulkanik Haranggoal (timur laut Danau Toba) menutupi tinggian yang membatasi cekungan Sumatra Utara dan Cekungan Sumatra Barat. Gunung Sibayak dan Sinabun adalah gunungapi strato terdiri dari aliran lava, breksi vulkanik, endapan awan panas, dan tufa dengan komposisi andesitik hingga dasitik.

Di daerah kompleks Gunungapi Sibayak terdiri atas Gunungapi Takur-takur, Gunung Uncin, Gunung Bekulap, Gunung Barus, Gunung Simpulan angin, Gunung Singkut, Gunung Sibayak, dan Tufa Toba. Sedang batuan dasarnya adalah batugamping kristalin (formasi Batumilmil), serpih-batupasir (formasi Kuala) dan batupasir-konglomerat (formasi Bruکش) dari grup



Gambar 2. Peta sebaran batuan dasar pre-tercier di Sumatra dan Malaysia, berdasar penelitian Adiwidjaja dan de Coster (1973); Cameron et al. (1980); Eubank dan Makki (1981); dan Pulunggono dan Cameron (1984)

Peusangan berumur Permian yang diterobos oleh beberapa intrusi granitoid (Negeri Suoh), (Gambar 3.). Gunung Sibayak, Gunung Pintal, dan Gunung Pratektekan merupakan pusat kegiatan gunungapi kwarter yang terletak didalam kaldera Singkut. Secara morfologi, separuh bagian selatan kaldera tersebut tercermin sangat baik, sedang separuh bagian utara tertutup oleh lava dan batuan piroklastik dari Gunung Sibayak dan Pratektekan.



Gambar 3. Peta geologi Gunung Sibayak-Sinabung dan sekitarnya

Selain struktur setengah kaldera tersebut di atas, struktur permukaan yang mudah dikenali adalah sesar-sesar yang berarah baratlaut-tenggara (NW-SE) serta sesar-sesar yang berarah baratdaya-timurlaut. Sesar-sesar di atas terdapat di dalam lingkaran kaldera.

Batuan andesitik dari Gunung Sibayak pada umumnya bertekstur porfiritik dengan fenokris melimpah (kadang-kadang mencapai 70 %) dan terdiri dari plagioklas, biotit, hornblende dan kwarsa dalam masadasar mikrokristalin plagioklas, mineral opa, biotit, dan kwarsa. Plagioklasnya kadang-kadang berubah menjadi agregat klorit, aktinolit, dan serisit; hornblendanya umumnya mengalami kloritisasi atau berubah menjadi oksida

besi; sedang kwarsanya sebagian besar terkorosi. Sedangkan kubah lava (dôme) adalah Dolok Singglang, Dolok Simbolon, Dolok Sipiso-piso, dan Dolok Pusukbukit semuanya berkomporsi dasitik terletak di sebelah selatan Berastagi tidak jauh dari Danau Toba.

Terhadap cekungan sediment tersier, daerah Berastagi terletak antara cekungan Sumatra Utara dan Cekungan Sumatra Barat. Di daerah ini tidak ada singkapan sediment tersier karena tertutup oleh endapan tuf Toba dan batuan vulkanik kwarter lainnya. Singkapan terdekat merupakan singkapan formasi batuan tersier cekungan Sumatra Barat yang berturut-turut terdiri atas formasi Sibolga, formasi Barus, formasi Tutut, dan formasi Meulaboh. Umur formasi formasi tersebut adalah Oligosin akhir hingga Pleistosen (Cameron *et al.*, 1980 dan Aldiss *et al.*, 1983).

5. DISKUSI DAN KESIMPULAN

Batuan dasar yang berupa batuan sedimen dari grup Tapanuli dan batuan granitik merupakan bagian dari mikro-kontinen Mergui akan mempengaruhi genesa magma di daerah ini sehingga batuan asam lebih dominan (dicirikan dengan banyaknya kubah lava) di banding daerah-daerah lainnya yang batuan dasarnya berbeda. Sementara efek penunjaman miring menyebabkan terbentuknya sesar Semangko dan hal ini juga menyebabkan jumlah gunungapi yang sangat sedikit apabila dibandingkan dengan Pulau Jawa yang arah penunjaman tegak-lurus terhadap busur magmatiknya.

Umur radiometrik menunjukkan bahwa batuan vulkanik berkisar antara 5,6 dan 0,32 Ma. Di mana batuan tertua merupakan intrusi mikrodiorit yang memotong batuan dasar pre-tersier di kota Parapat, kemudian batuan vulkanik Harangoal (2,9 Ma), dôme Sipiso-piso (1,9 Ma), dan dôme Dolok Singglang (0,52 Ma). Umur Tufa Toba berkisar antara 1,2 Ma dan 0,074 Ma, Singapura, dan 0,073 Ma, di Pulau Samosir (Chesner & Rose, 1991). Umur dari kompleks Gunungapi Sibayak adalah 2,1 Ma (lava andesit Gunung Simacak; bagian barat Gunung Singkut), dan 0,48 Ma (lava andesit Gunung Sibayak). Hal ini menunjukkan bahwa kegiatan gunungapi berawal pada Miosen Akhir (5,6 Ma) dan relatif menerus di daerah Toba maupun di sekitar Gunungapi Sibayak. Apabila dikorelasikan dengan penyebaran batuan di permukaan, di mana Tufa toba (1,2 Ma hingga 74 000 tahun) tersebar luas, maka dapat disimpulkan bahwa kompleks Gunungapi Sibayak tidak pernah tertutup oleh Tufa Toba. Himpunan mineral ubahan serta manifestasi hidrotermal berbagai tipe terdapat di kompleks Gunungapi Sibayak.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Aldiss, W., R., Sjaefudien, A.G., and Kusjono 1983, *The Geology of the Sidikalang Quadrangle, Sumatra (Scale 1 : 250 000)*. Geological Research and Development Centre, Bandung.
- Bellon, H., Quoc Buù, N., Chaumont, J., and Philippet, J.C., 1981, - Implication ionique d'argon dans une cible support. Application au traçage isotopique de l'argon contenu dans les minéraux et roches -*C.R. Acad. Sci.*, 292, Sér. II: 977 - 980.

- Cameron, N. R., Clarke, M.C.G., Aldiss, D.T., Aspden, J.A. and Djunuddin, A., 1980, *The Geology Evolution of Northern Sumatra*, Proc. Indonesian Petrol. Assoc., vol. 9:149 - 188.
- Cameron, N. R., Aspden, J.A., Bridge, D.McC., Djunuddin, S.A., Ghazali, S.A., Harahap, P., Hariwidjaja, Johari, S., Kartawa, W., Keats, W., Ngatibo, Rocks, N.M.S., and Whandoyo, R., 1982, *The Geology of The Medan Quadrangle, Sumatra (Scale 1:250000)*, Geological Research and Development Centre, Bandung.
- Rocks, N.M.S., and Whandoyo, R., 1982, *The Geologi of the Medan Quadrangle, Sumatra (Scale 1:250 000)*. Geological Research and Development Centre, Bandung.
- Bellier, O., Sebrier, M., and Pramumijoyo, S., 1991, *La grande faille de Sumatra: géométrie, cinématique and quantité de déplacement mise en évidence par l'imagerie satellitaire*, C. R. Acad. Sci. Paris, t. 312, Série II: 1219 - 1226.
- Bellier, O. and Sébrier, M., 1995, *Is the slip rate variation on the Great Sumatran Fault accommodated by fore-arc stretching ?*, Geophysical Research Letters, vol. 22:1969 - 1972.
- Chesner, C. A. and Rose, W.I., 1991, *Stratigraphy of the Toba Tuffs and the evolution of the Toba Caldera Complex, Sumatra, Indonesia*, Bull. Volcanol., vol. 53: 343 - 356.
- Curray, J. R. and Munasinghe, T., 1989, *Timing of intraplate deformation, northeastern Indian Ocean*, Earth and Planet. Sci. Lett., vol. 94: 71 - 77.
- Daly, M. C., Cooper, M.A., Wilson, I., Smith, D.G., and Hooper, G.D., 1991, *Cenozoic plate tectonics and basin evolution in Indonesia*, Marine and Petroleum Geology, vol. 8: 2 - 21.
- De Coster, 1974, *The Geology of the Central and South Sumatra basins*, Proc. Indonesian Petroleum Assoc. : 77-110.
- Eubank, R. T. and Makki, A.Ch., 1981, *Structural Geology of the Central Sumatra back-arc basin*, Proc. Indonesian Petroleum Assoc., 10th:153 - 196.
- Fitch, T. J., 1972, *Plate Convergence, Transcurrent Faults, and Internal deformation Adjacent to Southeast Asia and the Western Pacific*, J. Geophys. Res., vol. 77, N°. 23: 4432 - 4460.
- Hahn, L. and Weber, H.S., 1981, *The Structure of West Sumatra*, Geol. Jahrbuch, vol. 47: 21 - 39.
- Hamilton, W., 1979, *Tectonic of the Indonesian Region*, Geol.Survey Prof.paper 1078,U.S.Gov.Printing office, Washington, : 345p.
- Hutchison, S. C. 1981, *Review of the Indonesian Volcanic Arc*. The Geology and tectonics of Eastern Indonesia Eds. A. J. Barber and Wiryosojoono, S.New York, G. R. D. C., Spec. Publ. No. 2. 65 - 80.
- Hutchison, C. S. 1982, *Indonesia. Andesites : Orogenic Andesite and Related Rocks* , Eds. R. S. THORPE.New York, John Wiley & Sons.207-224.
- Mitchell, A. G. H., 1993, *Cretaceous-Cenozoic tectonic events in the western Myanmar (Burma)-Assam region*, J. Geol. Soc. London, vol. 150: 1089 - 1102.

- Moore, G. F., Curray, J.R., and Emmel, F.J. 1982., *Sedimentation in the Sunda Trench and fore arc region*. Trench-Forearc Geology, Geol. Soc. London Spec. Pub. J. K. (.). Legget (Ed): 245 - 257.
- Newcomb, K. R. and McCann, W.R., 1987, *Seismic history and seismotectonics of the Sunda arc*, Jour. Geophys. Research, vol. 92: 421 - 439.
- Pertamina, 1997, *Evaluasi Potensi Energi Panasbumi Area Sibayah, Sumatera Utara*, Dinas Eksplorasi Panasbumi.
- Page, B. G. N., Bennett, J.D, Cameron, N.R, McC. Bridge, D., Jeffery, D.H., Keats, W., and Thaib, J., 1979, *A review of the main structural and magmatic feature of northern Sumatra*, J. geol. Soc. London., vol. 136: 569 - 579.
- Rock, N. M. S. and Syah, H.H., 1982, *Permian to Recent Volcanism in Northern Sumatra, Indonesia: a Preliminary Study of its Distribution, Chemistry and Peculiarities*, Bull. Volcan., vol. 45-2: 128 - 153.
- Sclater, J. G. and Fisher, R.L.,, 1974, *Evolution of the East-Central Indian Ocean, with emphasis on the tectonic setting of the Ninety-East Ridge*, Geol. Soc. America Bull., vol. 85: 683-702.
- Suari, S. and Fauzi, A., 1991, *Geothermal prospects in Sumatera*, Proc. Indonesian Petroleum Assoc., 20th: 263 - 272.
- Widiyantoro, S. and Hilst, V.D.R., 1996 , *Structure and evolution of lithospheric slab beneath the Sunda arc, Indonesia*, Science, vol. 271: 1156 - 1570.