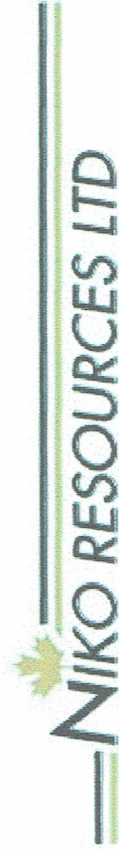




**Proceedings of the
Joint Convention Makassar 2011
HAGI-IAGI**

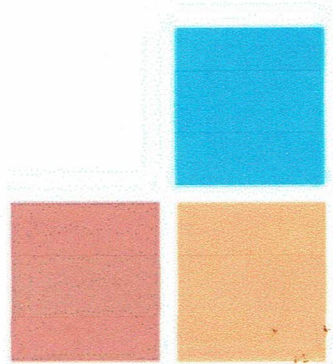
Clarion Hotel Makassar
26-29 September 2011

Sincere appreciation to Niko Resources Indonesia
for sponsoring the reproduction of this CD version of the Proceedings



Foreword
Acknowledgement

The Committee
Technical Paper & Poster



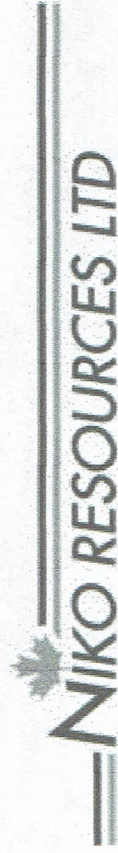


Joint convention
2011
MAKASSAR
HAGI-IAGI

Proceedings of the
Joint Convention Makassar 2011
HAGI-IAGI

Clarion Hotel Makassar
26-29 September 2011

Sincere appreciation to Niko Resources Indonesia
for sponsoring the reproduction of this CD version of the Proceedings



Foreword
Acknowledgement

The Committee
Technical Paper & Poster

Foreword



joint convention
2011 | MAKASSAR
HAGI-IAGI

Exploring Eastern Indonesia

The theme of the Joint Convention Makassar HAGI-IAGI 2011 reflects the challenge that has to be faced by our industry. Petroleum, coal, and mineral are few of the energy that available by this country. It is now the time to accelerate the exploration to the promising area of Eastern Indonesia.

Makassar is the first location for HAGI and IAGI to have an annual meeting and Joint convention at the Eastern part of Indonesia. We were considered Makassar as the venue of our Joint convention because we would like to emphasize the opportunity of knowledge and technology to the E part of Indonesia. As the main gate of eastern part of Indonesia for industries and education, we believe Makassar is the right location for HAGI and IAGI Joint Convention venue.

The committee received more than 500 abstracts from various subjects covering geology and geophysics coming from oil and gas companies, coal companies, mineral companies, service companies, government agencies, and universities. All of that representing how is the stakeholders responding the challenge that confronting the energy of petroleum, coal, and mineral, especially in the eastern area of Indonesia. Unfortunately, as limited by the capacity of the venue (seven parallel rooms are provided!), only about 200 papers have significantly been accepted and presented for 3 days of the convention!

The committee hopes that all of the papers and information being presented through this convention will be valuable and useful for all of the stakeholders to the benefit of the community, and for the continuing of the national welfare of Indonesia.

Deni Rahayu
Chairman, Technical Program Committee
Joint Convention Makassar HAGI-IAGI 2011



Joint convention
2011 | MAKASSAR
HAGI-IAGI

Acknowledgement

The JCM 2011 Technical Committee receives more than 600 papers and to align the nature of the proceedings, all of the papers have been reviewed by several oil and gas as well minerals practitioners. The Joint Convention Makassar 2011 Technical Committee would like to acknowledge the efforts and dedication of the following individuals:

Ade Kadarusman (PT Inco tbk)
Ari Samedra (PERTAMINA)
Arif Gunawan (EMGS)
Arif Zardi (Rancabulan Penjuru Mineral)
Bronto Sutopo (PT Antam tbk)
Dicky Rahmadi (BPMIGAS)
Elan Biantoro (BPMIGAS)
Mohammad Syaiful (Exploration Think Tank Indonesia)
Prasiddha Hestu Narendra (Exploration Think Tank Indonesia)
Sukmandaru Prihatmoko (AGC)
Yosi Hiresiadi (JOB Pertamina Petrochina East Java)

Committee



Joint convention
2011 | MAKASSAR
HAGIAGI

Board of Advisor

President of HAGI
President of IAGI

Steering Committee

IAGI General Secretary
Chairman of HAGI Chapter of Makassar
Chairman of IAGI Chapter of South-West-Central-
Southeast Sulawesi
Chairman of Ikatan Alumni Geologi
Universitas Hasanuddin

Organizing Committee

Chairman
Co - Chairman
General Secretary
Treasury

Chairperson Technical Program

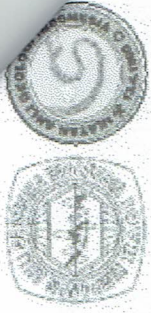
Paper
Oral Presentation Session

Yosi Hirostiadi (JOB PPEJ)
Ir. Lambok M. Huiasoit, PhD (ITE)

Mohammad Syaiful (ETTD)
Muhammad Alin P. (Unhas)
H. Nurhamdan (AFPM)
Amsal ST (Kodam Wirabuana)

Dicky Rahmadi A. (BPMIGAS)
Muhammad Iqbal Noot (Perusda Gowa)
Budi Ardiyana (Star Energy)
Dyah Tripuanawati (Inpex)
Muhammad Adam Marnas (APM)
Deni Rahayu (ETTT)
Djedi S. Widarto (Pertamina)
Prasiddha H. Narendra (ETTT)
Ade Kadarusman (PT INCO)
Randy Condronogoro (PetroChina)
A.M. Imran Oemar (Unhas)
Syamsul Bahri (ESDM Suisse)
Diah Ayu W. (PetroChina)

Committee



Joint convention
2011
MAKASSAR
HAGI-JAGI

Student Volunteer	: Irzal Nur (Unhas) : Tri Handayani (Pertamina EP) : Sabrianto Aswad (Unhas) : Muhammad Safar (PT. SB) : Fitrix Primantoro Putro (BP) : Danu Widhiyadi (PetroChina) : Agus Muhammad Ustad (Elnusa) : Johan Eden T. (Geospasial) : Didi Afriadi Firmansyah (Medco E&P) : Syaeful Amin (PetroChina) : Hendra Pachri (Unhas) : Kernala Perguna (Geotech) : Sumarlin (Geospasial) : Benyamin Sembiring (GDA)
Poster Presentation Session	: Arif Gunawan (EMGS) : Andi M. Adiwarta (PHE) : Barlianta (Alpha Perdana) : Faris (Independent Consult.) : Mika H Suryapranata : Wulandari Mandradewi (Starua Bara Consult.) : Andi Asni Sani (Kejaksanaan Negeri)
AV & IT	
Judge	
Signage / CD ROM / Momento	
Short Course	
Field Trip	
Chairperson Non – Technical	
Publication	
Registration	

mittee



Joint convention
2011 | MAKASSAR
HAGI-IAGI

Sponsorship & Exhibition

Sri Sulistiowati (Fugro-Jason)
Lupi Harvidya T. (TAC Meruap)

Social Program

Hariono (KLA Unhas)
Alison Purba (RPM)

Venue Facility

Zulkadar Mursida (Alpha Perdana)

Security

Muh. Hendratno Riyadi (Sherpa Indonesia)

Transportation

Hirawan (ESDM Gowa)

Ice Breaker Party

Agus Ardianto Budiman (UMI)

Opening / Closing Ceremonies

Poetri Monalia (Fairfield)

Dian Nugrahaningsih (Elnusa)

Fanny Herawati (Jewel Suite)

Zulkifli Kurais Mubar (PT. SI)

Johnson A. Paju (BPMIGAS)

Sahlan Suyuti (PT. INCO)

Anief Yoga (Pertamina EP)

Iman Firman (Pertamina EP)

Panel Discussion

Geo-Photo Contest

JCM 2011 Secretariat

Arida Chyandria

Rahajeng Paramita

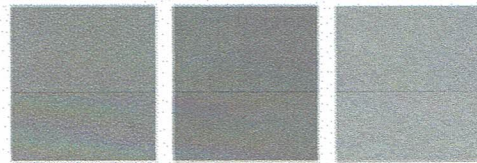
Technical Paper & Poster



Joint convention
MAKASSAR
HAGI-IAGI
2011

Natural Resources of Indonesia
Mineral and Energy Resources
Management
Environmental Issues
Hazard Mitigation
Geodynamics, Seismology, Volcanology
Sedimentology and Stratigraphy
G&G Methods, Technology and
Application
Engineering Geology
Invited paper

ISBN 978-979-8126-23-9



**STUDI PENDAHULUAN: TURMALIN DALAM SEKISBIRU PADA KOMPLEK
BANTIMALA, SULAWESI SELATAN**

^{1&2} Joko Soesilo, ² Emmy Suparka & ² Chalid Idham Abdullah

¹Jur. Teknik Geologi UPN "Veteran" Jogjakarta

²Departemen Teknik Geologi FITB-ITB

email: j_soesilo@gc.itb.ac.id

ABSTRACT

Turmalin sebagai mineral asesori didapati dalam batuan metamorfik tekanan tinggi pada Komplek Melang Bantimala, Sulawesi Selatan. Keberadaan mineral tersebut dalam himpunan hanya sedikit, berwarna gelap, berbentuk prismatic, berukuran halus dan sukar diamati dengan mata telanjang. Pengamatan dengan mikroskopi dan mikroprobe dapat dikenali sebagai Dravite dengan X_{Mg} sebesar 0.72 – 0.76 dan X_{Na} ($Na/(Na+Ca+K)$) sebesar 0.90 – 0.95 serta kation Al sebesar 5.96 – 6.02 atom pfu. Keberadaannya terdapat dalam keratan tektonik sekisbiru yang bersebelahan dengan keratan eklogit dan terdapat di bagian sebelah barat satuan batuan metamorfik pada kompleks tersebut. Himpunan mineral pada sekis biru memperlihatkan krosit + almandine + kuarsa + fenjit + epidot + rutil ± zircon ± kalsit. Metamorfisme retrogresi menjadi fasies sekishijau terjadi pada batuan tersebut dengan menghadirkan himpunan epidot + klorit. Kehadiran turmalin dalam himpunan tersebut bersamaan atau setelah pembentukan fasies sekishijau. Data geokimia sekis biru memperlihatkan protolith berupa batuan andesitan Kalk Alkali sedangkan keratan eklogit di sekitarnya berasal dari batuan basaltis-ultrabasa dengan afinitas toleit. Percampuran tersebut ditafsirkan terjadi pada jalur penunjaman Kapur di tenggara Sundaland.

Kata kunci: turmalin, dravite, eklogit, sekisbiru, Sundaland, Boron

Accessory mineral of tourmaline are found in metamorphic rocks of Bantimala Melange Complex, South Sulawesi. The occurrence are limited, dark appearance, prismatic, and minute. Microscopy and microprobe determinations recognize as dravite with X_{Mg} is 0.72 – 0.76 and X_{Na} ($Na/(Na+Ca+K)$) ranges 0.90 – 0.95 with Al Cation about 5.96 – 6.02 apfu. The existence of tourmaline bearing blueschist tectonic slice which is close to eclogite are located in the western part of metamorphic unit of the complex. Mineral assemblages of the blueschist are crossite + almandine + quartz + phengite + rutile ± zircon ± calcite. Retrogressed metamorphism toward greenschist facies occurred in the assemblages which present epidote + chlorite. Formation of tourmaline presented in the assemblages coincidence or after greenschist formation. Geochemical data of the blueschist shows calk-alkali andesitic protolith while the surrounding eclogite derived from tholeiite basaltic rocks. Its mixing is supposedly occurred in SE Sundaland's subduction zone of Cretaceous Time.

Keywords: tourmaline, dravite, eclogite, blueschist, Sundaland, Boron

PENDAHULUAN

Komplek Bantimala terletak 60 km di timur laut Makassar, Sulawesi Selatan. Komplek ini telah dikenal luas karena keberadaan batuan

metamorfik tekanan tinggi. Komplek subduksi Jura hingga Kapur tersebut merupakan batuan tertua yang menempati lengan selatan Sulawesi. Dalam tatanan tektonik bagian tenggara Sundaland, Komplek ini dihubungkan dengan

PROCEEDING PIT IAGI MAKASSAR 2011
The 36th and 40th IAGI Annual Convention and Exhibition
Makassar, 26 – 29 Agustus 2011

komplek akresi seumur lainnya yang terdapat di Karangasambung, Jawa Tengah dan Meratus di Kalimantan Selatan (Hamilton, 1979; Katili & Hartono, 1983). Sepanjang empat puluh tahun terakhir berkembang berbagai pemikiran tentang hubungan ke-tiga kompleks akresi di bagian tenggara Sundaland tersebut. Sebagian menganggap ketiganya merupakan sebuah kompleks akresi yang panjang dan luas (Wakita dkk, 1997, 2000; Parkinson, dkk, 1998), sebagian lain menganggap ada pemisahan diantaranya.

Dari pendekatan keberadaan batuan metamorfik tekanan tingginya, Komplek Melange Bantimala menyerupai Komplek Melange Luk Ulo di Kebumen Jawa Tengah. Eklogit dan sekisbiru terdapat di kedua kompleks tersebut. Batuan metamorfik Komplek Bantimala pernah mengalami tekanan 16 - 17 Kbar dan 24-27 Kbar serta suhu 580-620 ° C dan 580-650 ° C (Miyazaki dkk, 1996), pada Jaman Kapur Awal antara 111 – 137 Ma (Hamilton, 1979, Hasan, 1990, Wakita dkk, 1996, Parkinson dkk, 1998).

Baik di Komplek Melange Luk Ulo maupun di Komplek Melange Bantimala, batuan metamorfik tekanan tingginya mengandung turmalin. Keberadaan turmalin tersebut sangat menarik. Pada Komplek Melange Luk Ulo, jarum-jarum turmalin berukuran panjang 4 cm hadir dalam eklogit teretrogresi dan sekis biru sedangkan pada Komplek Melange Bantimala turmalin berbentuk sangat halus sehingga tidak mudah dikenali dengan kasat mata. Penyebarannya sangat terbatas pada blok sekis biru garnet kuarsa di bagian barat Komplek tersebut.

Dalam makalah ini, akan disajikan analisis kimia mineral turmalin dan mineral lain penyusun sekis biru; kimia batuan pengandung turmalin dan kaitannya dengan himpunan batuan metamorfik tekanan tinggi pada Komplek Melange Bantimala, Sulawesi Selatan.

Turmalin

Turmalin merupakan mineral silikat boron yang paling umum terdapat dalam batuan di alam. Kandungan B nya ~ 3 % berat. Di alam turmalin sebenarnya memiliki setidaknya 11 jenis mineral, namun yang lebih dikenal secara umum hanya ada 3 yakni: Schorlrite; Elbaite dan Dravite yang masing masing mewakili kehadiran unsur Fe, Al dan Mg dalam mineral silikat boron tersebut.

Turmaline mempunyai formula umum sebagai $XY_3Z_6B_3Si_6(O,OH)_{30}(OH,F)$ dimana X ditempati Na, Ca dan Y oleh Mg, Fe, Mn, Li, Al serta Z oleh Al, Mg, Fe³⁺.

Boron adalah unsur yang sangat rendah kelimpahannya pada kerak dan mantel (Mc Donough & Sun, 1995 dalam Marschall et al, 2006). Oleh karenanya dibutuhkan konsentrasi efektif boron pada pembentukan turmalin. Deer, Howie dan Zussman, 1966 mengemukakan bahwa peningkatan boron dalam proses turmalinisasi dapat terjadi pada stadia pneumatolitik, suatu kegiatan akhir magma atau metasomatitik dan rekristalisasi butiran dari protolit sedimen pada metamorfisme. Konsentrasi boron tersebut didapat dari 1. diferensiasi magma, pembentukan turmalin dalam pegmatit yang diperkaya B sebagai hasil sifat inkompatibel yang tinggi, 2. Proses didominasi fluida karena sifat fluida mobilitas tinggi (Marschall et al., 2006). Kebutuhan B pada pertumbuhan turmalin pada batuan jenuh fluida bisa saja dipasok oleh fase lain dalam batuan itu sendiri seperti mineral lempung atau mika (Deer, et al., 1992; Nakano & Nakamura, 2001 dalam Marschall et al, 2006) atau oleh fluida dari luar selama metasomatisme (Altherr et al, 2004 dalam Marschall et al, 2006). Bebout & Nakamura, 2003 (dalam Marschall et al., 2006) mengemukakan jumlah Boron berkurang selama proses metamorfisme progradasi dan akan sangat kecil pada pertumbuhan tekanan tinggi, namun sebaliknya akan bertambah selama proses retrogradasi. Oleh karena itu kehadiran turmalin dalam batuan dianggap penting karena pemahaman mekanisme tranfer material dari keratan slab ke mantel dapat berasal dari kemelimpahan dan sistematik isotop boron pada batuan hasil subduksi (Marschall et al, 2006).

Pada studi pendahuluan tentang turmalin ini tidak akan sejauh hal tersebut di atas. Studi ini hanya dilakukan berdasarkan pengukuran oksida unsur major kimia mineralnya dan tidak dilakukan pengukuran kandungan boron dan isotopnya. Identifikasi turmalin lebih banyak disokong oleh pengamatan petrografi dan analisis kimia mineral menggunakan EPMA. Diharapkan dengan studi ini dapat diungkapkan petrologi batuan sekisbiru batuan pengandungnya dan kapan kejadian

turmalintersebut dibandingkan anggota himpunan mineral lainnya.

GEOLOGI DAERAH BANTIMALA, TODONG TALASSA

Seperti dikemukakan di atas, Komplek Mélange Bantimala merupakan batuan tertua yang terdapat di lengan selatan Sulawesi. Bantimala merupakan singkatan Bantimurung dan Malaka, dua desa di Kecamatan Todongtalasa, Kabupaten Pangkajene. Komplek melange tersebut terdiri dari himpunan batuan "allochthone" yang tercampur aduk dan terimbrikasi secara tektonik dan terdiri dari satuan bancuh, satuan metamorfik tekanan tinggi, satuan batupasir Paremba, satuan rijang "Paring", satuan breksi sekis dan satuan ultramafik "Kayubiti". Umur dari himpunan batuan tersebut beragam dimulai dari Trias hingga Kapur Awal. Pola struktur utamanya berarah Barat Laut -Tenggara. Sejak Kapur Akhir hingga Miosen Akhir, secara tidak selaras di atas Komplek Melange Bantimala diendapkan himpunan batuan "autochthone" yang hubungan dan superposisinya dapat diketahui dengan jelas (Sukamto, 1986).

Paling tua dari himpunan batuan autochthone adalah sedimen flysch Formasi Balangbaru yang diendapkan pada cekungan busur depan dalam system endapan palung busur jaman Kapur Akhir, diikuti dengan batuan vulkanik Formasi Alla, sedimen terrestrial Formasi Malawa, endapan karbonat paparan Formasi Tonasa serta endapan vulkanik dan vulkanik klastik baik yang berafinitas kalk alkali maupun alkalis Formasi Camba. Kecuali Formasi Balangbaru, sedimen tersebut diendapkan pada Jaman Paleogen hingga awal Neogen (Sukamto, 1986, Hasan, 1990).

Batuan metamorfik tekanan tinggi yang oleh Sukamto, 1986 disebut "batuan metamorphosis Bontorio" merupakan hasil metamorphosis batuan sedimen dibagian bawah cekungan busur depan pada suatu system palung busur Jaman Trias, namun data pentarikan umur K-Ar nya didapatkan umur Kapur Awal (Hamilton, 1979; Hasan, 1990; Wakita dkk, 1996; Parkinson dkk, 1998) dan berasal dari berbagai macam protolith. Dikemukakan oleh Sukamto, 1986, batupasir Paremba merupakan endapan cekungan tepi kerak benua pada Jaman Jura Awal – Jura Tengah demikian juga breksi sekis yang ditafsirkannya

sebagai turbidit "fluxo" pada cekungan semacam. Rijang "Paring" ditafsirkan sebagai endapan laut dalam diatas breksi sekis pada Jura Akhir- Kapur Awal. Batuan Ultramafik "Kayubiti" ditafsirkan sebagai kerak samodra pada jaman Trias.

Sistem palung-busur Kapur Tengah, oleh Sukamto, 1986 ditafsirkan sebagai penyebab berbagai batuan berumur Trias hingga Kapur Awal tercampur adukkan serta terimbrikasi menjadi Komplek Melange Bantimala. Dengan memperhatikan rotasi berlawanan jarum jam pada jaman Paleogen, kompleks tersebut sebelumnya diperkirakan membentang di selatan atau tenggara daratan Sundaland. Kenampakannya sekarang menjadi lajur sutur Barat Laut- Tenggara di timur Pangkajene, Sulawesi Selatan.

Metamorfisme tekanan tinggi

Himpunan batuan metamorfik yang tersingkap di sepanjang Sungai Panteteyang, Elle, Bontorio, Koraja, Cemengratue, Cempaga, dan Tinjau Bali terdiri dari: eklogit, sekis biru, sekis hijau mengandung glukofan dan sekis hijau. Himpunan batuan yang terdapat dalam lajur tektonik berpola Barat Laut - Tenggara memperlihatkan kecenderungan keberadaan eklogit di bagian barat. Semakin ke arah timur lajur metamorfik tersebut, batuan berubah menjadi sekis biru dan pada bagian paling timur ditempati sekis hijau. Kedua satuan batuan disebut, terakhir kadang berselingan dengan breksi sekis dan batupasir Paremba dengan batas-batas struktur.

Miyazaki dkk, 1996 mengemukakan, himpunan batuan metamorfik pada Komplek Bantimala terdiri dari sekis glaukofan, sekis klorit-albit aktinolit, sekis mika-klorit, sekis garnet-kloritoid-glaukofan-kuarsa, serpentinite, batuan garnet-glaukofan dan eklogit. Litologi yang dominan berupa sekis glaukofan dapat dibagi menjadi tiga tipe: sekis glaukofan mengandung lawsonit, sekis glaukofan mengandung hematite dan sekis glaukofan-garnet. Ketiga sekis glaukofan berbatasan satu dengan lainnya dengan kontak sesar. Eklogit dan batuan garnet-glaukofan terdapat sebagai blok tektonik.

Singkapan eklogit dapat ditemukan di Sungai Tinjau Bali, Koraja, Bunea, Panteteyang, dan Sungai Elle. Selain pada Sungai Elle yang berupa bongkah di sungai, eklogit pada singkapan yang

lain berupa blok-blok tektonik dengan penyebaran ratusan meter. Umumnya eklogit pada sungai-sungai tersebut berasosiasi dengan sekis biru. Sekis biru tersingkap secara menakjubkan pada lembah sungai Cemengratue dan Bontoriu. Pada kedua lembah sungai tersebut batuanannya benar-benar berwarna biru. Sungai Cemengratue merupakan sepotong nama pada bagian tengah Sungai Koraja. Pada sungai Bontoriu, sekis biru berselingan dengan sekis hijau, breksi sekis, metagrawacke mendominasi sepanjang sungai. Pada ujung timurnya dekat Desa Bontotinggi ditemukan kontak tidak selaras antara satuan batuan metamorfik dengan sedimen Formasi Balangbaru. Namun demikian keberadaan turmalin dalam sekis biru sementara hanya didapatkan di muara Sungai Bunea dengan sungai Panteteyang. Himpunan mineral pada sekis biru terdiri dari (glaukofan-krosit) + almandine + kuarsa + fenjit + epidot + kalsit + rutil ± zircon ± turmalin.

Puncak metamorfisme pada eklogit di Komplek Melange Bantimala dicapai pada suhu 530 – 680 °C dan tekanan 27 – 31 kbar dan dimungkinkan metamorfisme terjadi pada kedalaman hamper 110 km. Ditafsirkan kedalaman yang besar tersebut dicapai oleh kerak samodra tua yang relatif kering (Soesilo et al, 2010). Pengukuran ini lebih tinggi

TURMALIN DALAM SEKISBIRU

Singkapan sekisbiru mengandung turmalin didapatkan di Sungai Bunea berdekatan pada muaranya dengan Sungai Panteteyang. Singkapannya ditandai dengan keberadaan batuan pejal, berwarna hitam kebiruan, keras dan dihiasi dengan butiran garnet beraneka ukuran. Permukaan batuanannya halus karena pelapukan, yang sesekali terlihat bintil-bintil oleh kehadiran garnet. Batas keratan sekisbiru terhadap satuan melange dan eklogit tidak terlihat jelas di lapangan namun diperkirakan karena sesar.

Sekisbiru disusun oleh krosit + garnet + fenjit + kuarsa + rutil + epidot + kalsit ± turmalin ± klorit (gambar 2). Kuarsa, krosit, fenjit dan garnet merupakan mineral yang hadir secara dominan sedangkan rutil, epidot dan kalsit ada dalam jumlah sedikit. Turmalin dan klorit kadang hadir dan kadang tidak. Pengamatan detail dengan mikroskop polarisasi dan microprobe terlihat klorit dan epidot pada himpunan tersebut

dari pengukuran sebelumnya yang mengemukakan pengaruh suhu 580-640°C dan tekanan sebesar 18-24 kbar pada metamorfisme pada Komplek Bantimala, Sulawesi Selatan (Miyazaki et al, 1996).

METODA ANALISIS

Analisis kimia oksida unsur mayor, unsur jejak dan unsure tanah langka pada contoh batuan menggunakan metode XRF maupun ICP-MS dilakukan di Laboratorium Pusat Survey Geologi (Geology Laboratories), Bandung.

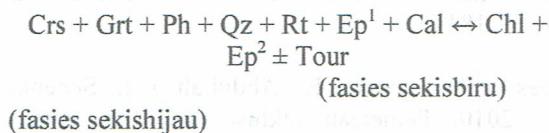
Pengamatan turmalin serta mineral lainnya penyusun sekisbiru dilakukan dengan mikroskop polarisasi dan Electron Probe Micro Analyzer Jeol JXA-8900A di Christian Albrechts Universitas zu Kiel, Jerman. Mikroprobe dilengkapi dengan lima wave length dispersive spectrometer (WDS) dan juga energy disperse spectrometer (EDS). Akselerasi potensialnya sebesar 15 – 20 kV untuk *beam current* 20 nA. Data kasarnya dikoreksi dengan menggunakan metoda CITZAF (Amstrong, 1995). Sayatan tipis 0,03 mm sekisbiru dilapisi dengan karbon sebelum dilakukan pengukuran komposisi kimia mineral. Selain itu juga dilakukan pembuatan gambar “*backscattered imaging*”.

sesungguhnya merupakan himpunan mineral yang berbeda dari sekisbiru. Sekisbiru telah mengalami metamorfisme retrogresif dengan menghadirkan klorit dan epidot menggantikan mineral mafik dan menandai keberadaan fasies sekishijau. Klorit menggantikan krosit dan garnet (Gambar 2C & D). Didapati inklusi garnet dalam turmalin yang sebagian digantikan oleh klorit. Beberapa epidot menggantikan kehadiran krosit. Di dalam turmalin terdapat inklusi krosit, garnet, klorit dan epidot (gambar 2D). Inklusi epidot tersebut merupakan himpunan epidot dalam sekis biru sedangkan epidot stadia berikutnya terbentuk dalam fasies sekishijau.

Pada sekisbiru kandungan amfibol biru berupa krosit dan mempunyai rasio $Fe^{3+} / (Fe^{3+} + Al)$ berkisar 0,31-0,45 sedangkan rasio $Fe^{2+} / (Fe^{2+} + Mg + Mn)$ berkisar 0,28 – 0,39 dan kation Na sebanyak 1,68 – 1,87 atom per formula unit. Dari sejumlah analisis Na hanya satu yang mempunyai nilai 1,13 apfu (gambar 4 kiri). Garnetnya berupa almandine dengan komposisi sebagai berikut: $Alm_{(0,55-0,60)} Prp_{(0,17-0,20)} Grs_{(0,17-0,27)} Sps_{(0,02-0,03)}$

(gambar 4 kanan). Epidot hadir dalam dua stadia. Pertama epidot sebagai bagian dari himpunan sekisbiru dan berikutnya merupakan epidot yang menggantikan krosit (tabel 3). Ditafsirkan epidot ke-dua merupakan bagian dari himpunan fasies sekishijau bersama klorit. Kenampakan kimia mineral dua jenis epidot tersebut berbeda. Epidot pada sekis biru memiliki nilai kation Si, Mg, Na yang lebih kecil (apfu) dan kation Al, Ca lebih besar (apfu) dibandingkan kation yang sama pada epidot pengganti krosit dalam himpunan fasies sekishijau, sedangkan kation Fe relative sama.

Turmalin dalam sekisbiru hadir sebagai dravit (turmalin kaya Mg) berwarna coklat kehijauan dan berukuran ± 1 mm. Kehadirannya tidak banyak dan susah didapati dalam sayatan tipis. Di dalam turmalin didapati inklusi krosit, garnet dan epidot. Sebagian tubuh inklusi garnet tergantikan oleh klorit. Hal ini menandai bahwa rekristalisasi turmalin dalam batuan tersebut terjadi setelah fasies sekis hijau terbentuk. Dengan demikian perkembangan himpunan mineral selama metamorfisme dapat disusun sebagai berikut:



DISKUSI

Sekisbiru pengandung turmalin (BTM-69) di Komplek Melange Bantimala merupakan batuan berkomposisi andesitic dengan afinitas kalk alkali berkarakter tepi benua aktif (gambar 3A dan 3C) yang kandungan CaO nya rendah (tabel 1). Kandungan Unsur Tanah Jarangnya memperlihatkan pengayaan unsur-unsur ringannya dibandingkan unsure yang lebih berat. Batuan tersebut berasosiasi dengan eklogit (BTM-71) berprotolit batuan toleit yang memperlihatkan kenampakan plot diagram Unsur Tanah Jarang yang sama dengan sekisbiru (gambar 3C). Di dalam wilayah Komplek Melange Bantimala yang lebih luas, sekis biru dan eklogit tersebut ada bersama-sama dengan eklogit BTM 134 yang berkarakter basalt punggungan tengah samodra yang diperkaya (*enriched MORB*) (gambar 3C). Di lain pihak keberadaan semua singkapan eklogit pada Komplek Melange Bantimala cenderung berada di sebelah barat dan

berjajar-jajar berikutnya di sebelah timur: sekis biru dan sekis hijau.

Peningkatan derajat metamorfisme dari zeolit \rightarrow prehnit pumpelyit \rightarrow sekisbiru \rightarrow eklogit berlangsung sepanjang jalur kemiringan subduksi karena disini isotherm di tekuk ke dalam (Spears, 1993). Di Jalur metamorfik Sambagawa Jepang lensa-lensa eklogit terdapat di bagian barat laut penyebaran sekisbiru-sekishijau, prehnit pumpelyit dan subduksi Jura-Kapur berarah ke barat laut sedangkan di California perkembangan fasies zeolit \rightarrow prehnit-pumpelyit menuju fasies sekisbiru mengarah barat timur (Miyashiro, 1961; 1973; Ernst, 1971). Di Bantimala perkembangan fasies sekishijau \rightarrow sekisbiru dan menjadi eklogit berkembang dari arah timur ke barat. Hal-hal tersebut di atas memberi keyakinan akan penafsiran adanya subduksi ke arah barat atau barat laut pada tepi kontinen Sundaland pada Jaman Kapur Awal dan juga mengindikasikan keberadaan batuan magmatik kalk alkali di wilayah tersebut sebelumnya.

Selanjutnya pada saat batuan metamorfik tekanan tinggi di Komplek Melange Bantimala mengalami pengangkatan terjadi metamorfisme retrogresi dan sebagian fasies sekisbiru berganti dengan sekishijau. Pada saat tersebut terjadi rekonsentrasi Boron pada sekishijau dan terbentuk turmalin bersama-sama atau bahkan setelah himpunan mineral sekis hijau. Beberapa diantara turmalin menyimpan jejak himpunan mineral fasies sekisbiru dalam turmalin.

KESIMPULAN

1. Sekisbiru mengandung turmalin terdapat bersama-sama eklogit di bagian barat Komplek Melange Bantimala. Turmalin yang dikandungnya merupakan dravit (turmalin kaya Mg) dan terdapat dalam jumlah sangat terbatas. Sekalipun turmalin terdapat dalam batuan sekisbiru namun bukan merupakan himpunan mineral yang kogenetik dalam fasies tersebut. Rekristalisasi turmalin terjadi setelah sekisbiru mengalami metamorfisme retrogresif menjadi sekishijau.
2. Protolit sekisbiru berupa batuan batuan beku andesitis berafinitas kalk alkali. Protolit batuan tersebut mempunyai karakteristik senyawa kimia dan diagram Unsur Tanah

PROCEEDING PIT IAGI MAKASSAR 2011
The 36th and 40th IAGI Annual Convention and Exhibition
Makassar, 26 – 29 Agustus 2011

Jarang yang berkarakter Kalk Alkali Tepi Benua Aktif. Di Komplek Melange Bantimala, batuan ini terdapat bersama-sama eklogit yang memperlihatkan karakter Basalt Punggungan Tengah Samodra yang diperkaya (*Enriched MORB*).

UNGKAPAN TERIMA KASIH

Riset ini merupakan bagian dari beasiswa Program Doktor BPPS-Dikti dan Black Gold Energy Ltd. Dana penelitian lapangan, perjalanan dan analisis riset ini di Pusat Survey Geologi Bandung dan di Universitas Kiel Jerman disediakan oleh Riset KK-ITB, Black Gold Energy Ltd (sekarang Nikko Asia Ltd), Abteilung Mineralogie dan SFB 574 project Universitas Kiel, Jerman. Untuk semua dukungan tersebut disampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya.

REFERENSI

- Amstrong, J.T., 1995. CITZAF: A package of correction programs for the quantitative electron microbeam X-ray analysis of thick polished materials, thin films and particles. *Microbeam analysis*, 4.
- Deer, W.A., Howie, R.A., & Zussman, J., 1992. *The Rock Forming Mineral*, 2nd edition, Pearson prentice Hall, 696 pp.
- Ernst, W.G., 1971. Metamorphic zonation on presumably subducted lithospheric plates from Japan, California and the Alp, *Contribution to Mineral Petrology*, 34: pp. 43-59.
- Hamilton W. 1979. Tectonics of the Indonesian Region. *U.S. Geological Survey Professional Paper* 1078, 345 pp.
- Hasan, K., 1990. The Upper Cretaceous flysch succession of the Balangbaru Formation, Southwest Sulawesi, *unpublished PhD thesis of RHBNC University of London*, 312 pp.
- Katili, J.A., Hartono, H.M.S., 1983. Complication of Cenozoic Tectonic Development in Eastern Indonesia, from *Geodynamics of the Western Pacific-Indonesian Region*, Geodynamic Series, Vol 11, pp. 387-399.
- Marschall, H.R., Ludwig, T., Altherr, R., Kalt, A., Tonarini, S., 2006. Syros Metasomatic Tourmaline: Evidence for Very High- δ^{11} Fluids in Subduction Zones, *Journal of Petrology Vol. 47*: 10, pp 1915-1942.
- Miyashiro, A., 1961. Evolution of Metamorphic Belts, *Journal of Petrology*: 2, pp. 277-311.
- Miyashiro, A., 1973. *Metamorphism and Metamorphic Belts*, George Allen And Unwin Ltd., London, 492 pp.
- Miyazaki K., Zulkarnain I., Sopaheluwakan J., Wakita K. 1996. Pressure-temperature conditions and retrograde paths of eclogites, garnet glaucophane rock and schists from South Sulawesi, Indonesia. *Journal of Metamorphic Geology* 14, 75-80.
- Parkinson C.D., Miyazaki K., Wakita K., Barber A J. and Carswell D A., 1998. An Overview And Tectonic Syntesis of the Pre Tertiary Very High-Pressure Metamorphic And Associated Rocks of Java, Sulawesi and Kalimantan, Indonesia, *Island Arc*, 7, 184-200
- Soesilo, J., Suparka, E., Abdullah, C.I., Schenk, V., 2010. Pemetaan inklusi di dalam garnet tekanan tinggi pada Komplek Melange Bantimala, Sulawesi Selatan, *Proceeding PIT IAGI ke-39*, Lombok 2010, 18 hal.
- Spear, F.S., 1993. *Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths*, Book Crafters, Inc, Michigan USA, 799 pp.
- Sukamto, R., 1986 *Tectonics of South Sulawesi with Special Reference of Characteristics of Rock Association in Bantimala Area*, PhD Thesis, Institute of Technology Bandung.
- Sukamto R., 1982. *The Geology of the Pangkajene and western part of Watampone, Sulawesi*, Geological map, 1:250.000 with explanatory note, Geological Survey of Indonesia in cooperation with the USGS.
- Wakita, K., 2000. Cretaceous accretionary-collision complexes in central Indonesia, *Journal of Asian Earth Sciences*: 18, pp 739-749.

PROCEEDING PIT IAGI MAKASSAR 2011
The 36th and 40th IAGI Annual Convention and Exhibition
Makassar, 26 – 29 Agustus 2011

Wakita K., Sopaheluwakan J., Miyazaki K., Zulkarnain I & Munasri 1996. Tectonic Evolution of The Bantimala Complex, South Sulawesi, Indonesia. In Hall, R & Blundell, D. (eds), 1996.

Wakita, K., Miyazaki K, Sopaheluwakan J, Zulkarnain, Parkinson, C., Munasri, 1997. Cretaceous subduction complexes along the southeastern margin of Sundaland, *Memoir of the Geological Society of Japan*, No 48, pp 152-162.

PROCEEDING PIT IAGI MAKASSAR 2011
 The 36th and 40th IAGI Annual Convention and Exhibition
 Makassar, 26 – 29 Agustus 2011

Analisis batuan metamorfik			
	Sekisbiru ¹	Eklogit ¹	Eklogit ²
	BTM 69	BTM 71	BTM 134
SiO ₂	57.74	45.06	47.66
Al ₂ O ₃	15.90	12.75	13.18
TiO ₂	0.72	1.96	1.48
MgO	5.65	9.71	9.58
Fe ₂ O ₃	9.49	16.12	15.75
CaO	3.12	8.92	5.78
P ₂ O ₅	0.28	0.01	0.202
Na ₂ O	3.20	2.49	5
K ₂ O	1.76	0.12	0.127
MnO	0.15	0.40	0.223
<i>ppm</i>			
Rb	52.56	-	3.56
Sr	155.7	391	124
Ba	175.6	26	43.47
Cr	224.5	334	147.9
Ni	79.49	158	152.5
Zr	8.3	249.3	7.15
Y	18.05	42.3	52.22
La	13.32	21.3	7.38
Ce	26.97	63.4	10.97
Pr	0.01	6.59	0.01
Nd	14.68	30.5	12.02
Sm	1.69	6.88	3.17
Eu	1.26	2.05	1.52
Gd	1.96	7.65	4.43
Tb	0.5	1.36	0.88
Dy	3.02	7.85	6.45
Ho	0.61	1.59	1.53
Er	1.75	4.42	4.94
Tm	0.39	0.64	1.12
Yb	2.42	4.46	7.31
Lu	0.35	0.71	1.05

Keterangan: ¹ Sungai Bunea dan ² Sungai Koraja

Tabel 1. Analisis Unsur Utama, Jejak dan Tanah Jarang pada batuan metamorfik Komplek Melange Bantimala

PROCEEDING PIT IAGI MAKASSAR 2011
 The 36th and 40th IAGI Annual Convention and Exhibition
 Makassar, 26 – 29 Agustus 2011

Analisis turmalin

	BTM-69 1	BTM-69 2	BTM-69 3	BTM-69 4	BTM-69 5	BTM-69 6
SiO ₂	37.37	37.50	37.20	37.49	37.70	37.60
TiO ₂	0.59	0.48	0.45	0.43	0.33	0.39
B ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	30.58	30.93	30.85	30.75	31.02	30.59
Cr ₂ O ₃	0.01	0.01	0.04	0.00	0.04	0.00
FeO	6.02	5.44	5.30	5.12	5.89	5.04
MnO	0.02	0.06	0.01	0.04	0.04	0.00
MgO	8.62	8.83	8.99	8.82	8.67	8.98
CaO	0.37	0.42	0.48	0.41	0.24	0.50
Na ₂ O	2.46	2.63	2.52	2.60	2.63	2.64
K ₂ O	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02
F	-	-	-	-	-	-
H ₂ O	-	-	-	-	-	-
Total	86.04	86.31	85.85	85.65	86.56	85.76
Jumlah kation didasarkan O = 27 (tanpa OH, F)						
Si	6.19	6.18	6.16	6.21	6.20	6.22
B	-	-	-	-	-	-
Ti	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.05
Al	5.97	6.00	6.02	6.00	6.01	5.96
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Fe	0.83	0.75	0.73	0.71	0.81	0.70
Mn	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	2.13	2.17	2.22	2.18	2.12	2.21
Ca	0.06	0.07	0.09	0.07	0.04	0.09
Na	0.79	0.84	0.81	0.83	0.84	0.85
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OH	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-
Total	16.05	16.08	16.08	16.06	16.07	16.08
xMg	0.72	0.74	0.75	0.75	0.72	0.76
xNa	0.92	0.92	0.90	0.92	0.95	0.90

Tabel 2. Kimia mineral turmalin dalam sekisbiru

PROCEEDING PIT IAGI MAKASSAR 2011
The 36th and 40th IAGI Annual Convention and Exhibition
Makassar, 26 – 29 Agustus 2011

Analisis Epidot

Mineral No.	Ep1 BTM-69 7	Ep1 BTM-69 8	Ep1 BTM-69 9	Ep2 BTM-69 10*	Ep2 BTM-69 11*
SiO ₂	38.43	38.56	38.42	55.52	48.91
TiO ₂	0.08	0.06	0.06	0.00	0.04
Al ₂ O ₃	25.98	25.44	25.13	9.75	12.07
Cr ₂ O ₃	0.06	0.04	0.00	0.02	0.00
FeO	9.21	9.45	10.15	12.34	10.96
MnO	0.07	0.07	0.16	0.07	0.06
MgO	0.18	0.10	0.07	10.75	15.96
CaO	22.32	23.14	23.08	0.24	1.18
Na ₂ O	0.05	0.02	0.02	6.49	4.00
K ₂ O	0	0	0	0	0
ZrO ₂	0	0	0	0	0
V ₂ O ₃	0	0	0	0	0
Nb ₂ O ₅	0	0	0	0	0
Total	96.38	96.88	97.08	95.18	93.21

Jumlah kation didasarkan O =12 (tanpa OH)

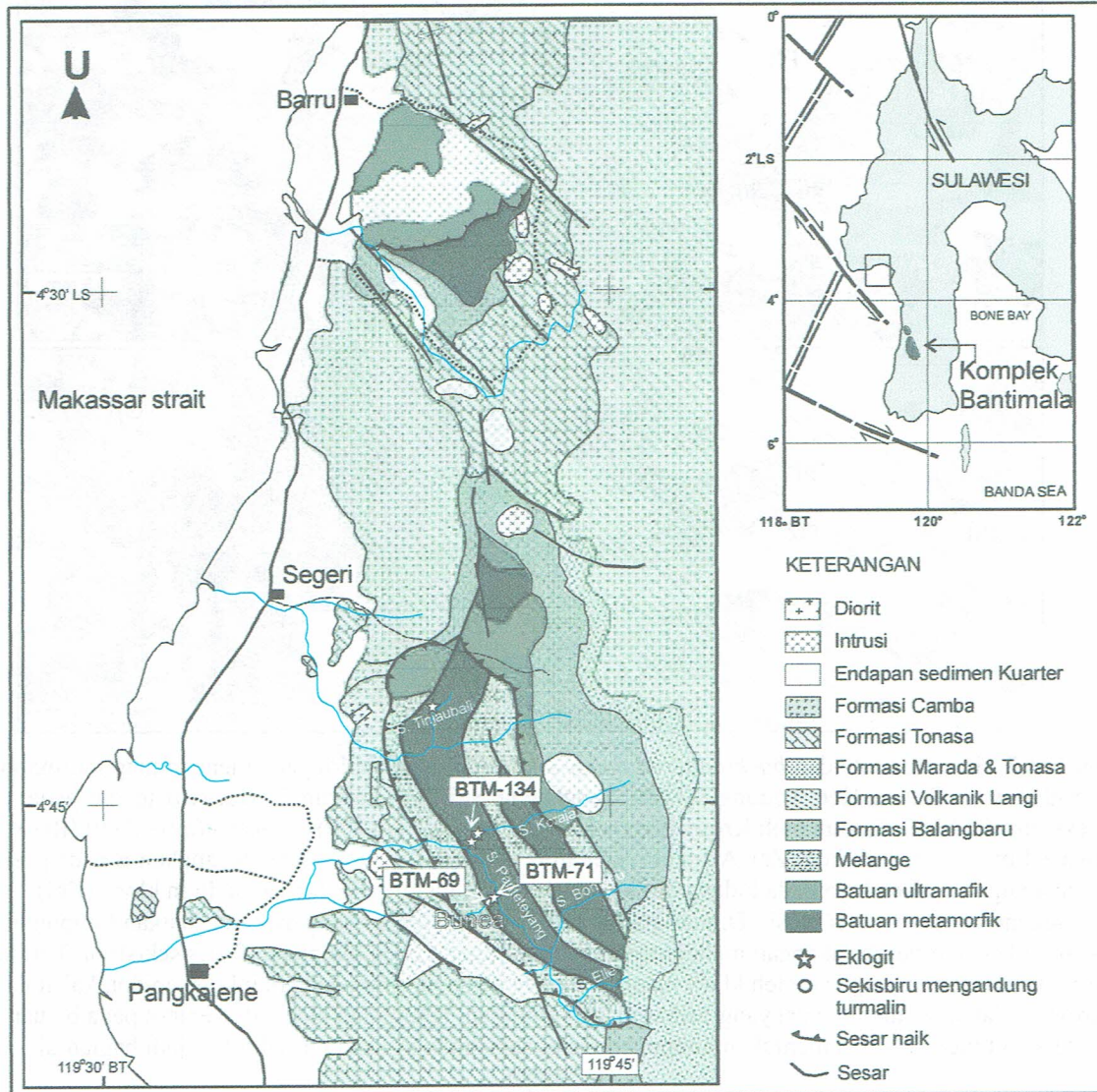
Si	2.98	2.98	2.98	4.13	3.73
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	2.37	2.32	2.30	0.86	1.08
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.60	0.61	0.66	0.77	0.70
Mn	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Mg	0.02	0.01	0.01	1.19	1.81
Ca	1.85	1.92	1.92	0.02	0.10
Na	0.01	0.00	0.00	0.94	0.59
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zr	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0
Nb	0	0	0	0	0
Total	8	8	8	8	8

Keterangan

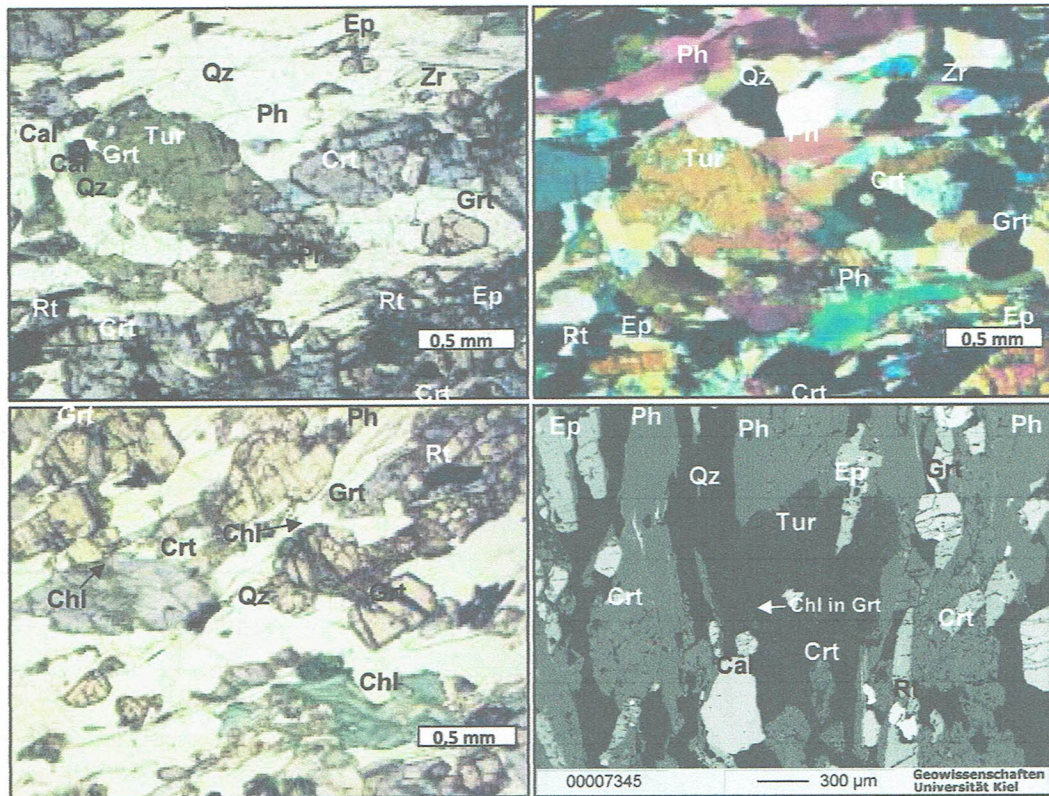
* menggantikan krosit

¹ dalam sekisbiru dan ² dalam sekishijau

Tabel 3. Kimia mineral epidot dalam sekisbiru

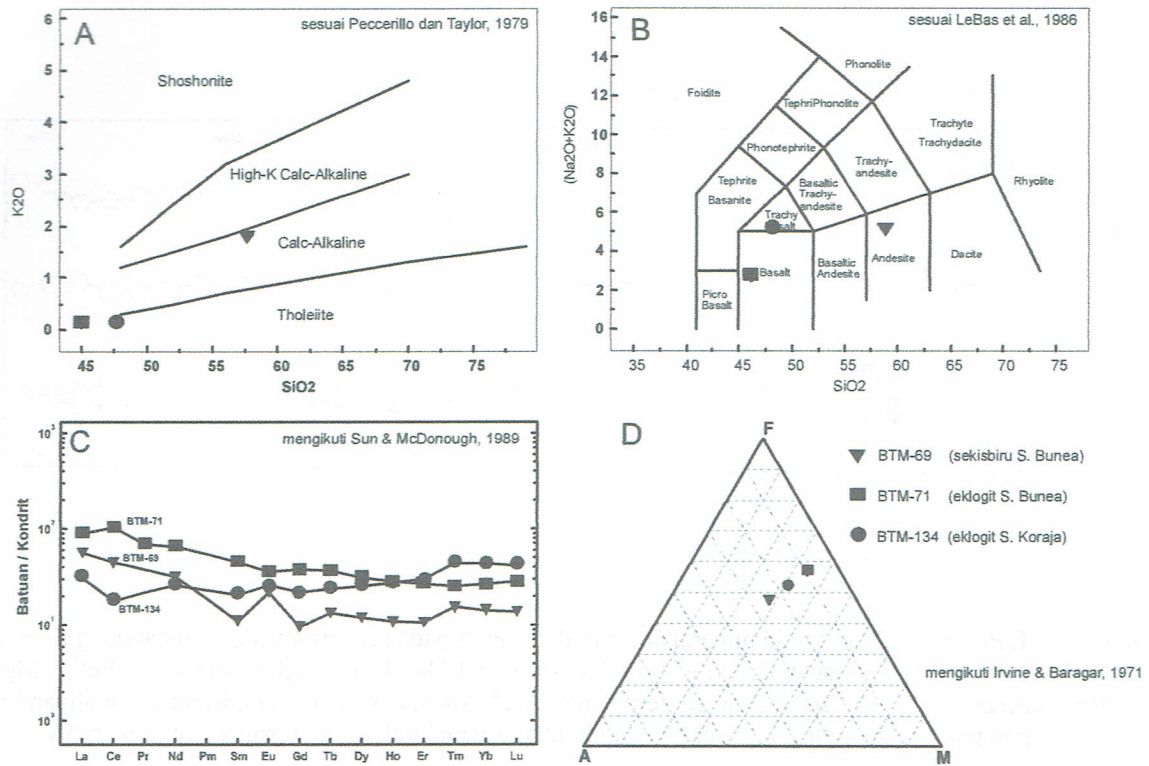


Gambar 1. Peta geologi daerah Pangkajene dan sekitarnya dimodifikasi dari Sukamto, 1982. Di dalamnya terdapat Komplek Melange Bantimala yang terdiri dari satuan metamorfik yang mengandung batuan tekanan tinggi; satuan ultramafik dan melange. Eklogit cenderung tersingkap di bagian sebelah barat dari Komplek Melange Bantimala.



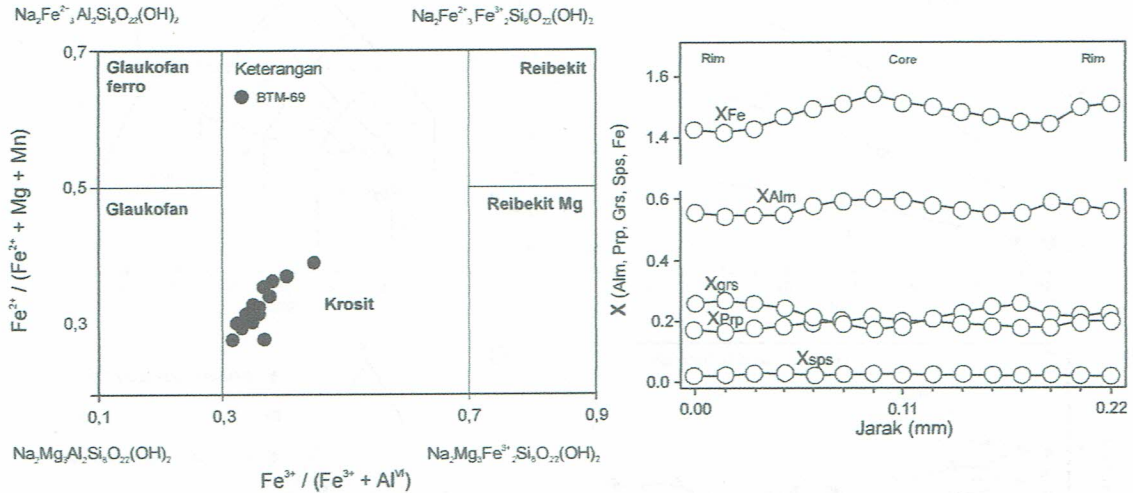
Gambar 2. Beberapa foto dan *backscattered image* sayatan tipis sekisbiru yang mengandung tourmaline pada Sungai Bunea, Kec. Todong Talassa, Pangkajene Sulawesi Selatan. Textur sekistositas pada sekisbiru BTM 69 disusun oleh Krosit (Crt) + Garnet (Grt)+ Fengit (Ph) + Kuarsa (qz)+ Rutil (Rt) + Kalsit ± Epidot (Ep) ± Zirkon (Zr). A foto sayatan tipis pada posisi nikol sejajar sedangkan B pada posisi disilangkan. Ke-duanya pada bidang bidik yang sama. C. memperlihatkan kehadiran klorit (Chl) menggantikan garnet dan krosit. D. merupakan *backscattered image* yang memperlihatkan himpunan turmalin (Tur) tumbuh belakangan melingkupi beberapa mineral pada himpunan fasies sekisbiru. Terlihat garnet yang telah tergantikan oleh klorit menjadi inklusi bersama-sama dengan inklusi epidot, kalsit dan krosit di dalam turmalin (Tur) yang berkembang kemudian. Himpunan klorit, dan epidot pada batuan tersebut menandai pembentukan himpunan fasies sekishijau dimana turmalin menjadi bagian di dalamnya.

PROCEEDING PIT IAGI MAKASSAR 2011
 The 36th and 40th IAGI Annual Convention and Exhibition
 Makassar, 26 – 29 Agustus 2011



Gambar 3. Plot kandungan senyawa oksida K_2O dan $Na_2O + K_2O$ terhadap SiO_2 (A & B), diagram Unsur Tanah Jarang (C) serta diagram AFM (D). Sekisbiru mengandung turmalin (BTM-69) memperlihatkan protolith batuan andesitan berafinitas kalk alkali sedangkan eklogit (BTM-71 & BTM 134) mempunyai protolith batuan ultrabasa- basaltan yang berafinitas toleit. Pada diagram REE (unsur tanah jarang) seksibiru memperlihatkan karakter Tepi Benua Aktif, demikian pula pola eklogit BTM-71 sedangkan eklogit BTM-134 cenderung berkarakter punggung tengah samodra yang diperkaya (*enriched MORB*)

PROCEEDING PIT IAGI MAKASSAR 2011
 The 36th and 40thIAGI Annual Convention and Exhibition
 Makassar, 26 – 29 Agustus 2011



Gambar 4. Plot kandungan kimia mineral amfibol dan garnet pada sekisbiru yang mengandung turmalin. Krositnya memiliki kandungan $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+} + \text{Al}^{\text{VI}})$ berkisar 0,31-0,45 sedangkan nilai $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg} + \text{Mn})$ berkisar 0,28 – 0,39 sedangkan garnetnya memperlihatkan jenis almandin. Kandungan almandin maupun pirop dalam inti garnet relative lebih tinggi dibandingkan pada bagian tepi mineralnya.