

PENELITIAN PALEOMAGNETIK DAN GAYA BERAT KAITANNYA DENGAN
PEMBENTUKAN FORMASI BATUAN DI SULAWESI SELATAN SERTA HUBUNGANNYA
DENGAN SELAT MAKASAR DAN KALIMANTAN

S. Panjaitan

Pusat Survei Geologi

Jl. Diponegoro No. 57 Bandung - 40124

Telepon : (022) 703205-08 (Hunting) 772601 Facsimile (022) 7202669

Kawat : P3G Bandung E-mail : contac@grdc.esdm.go.id.

SARI

Batuan yang terbentuk

di Sulawesi Selatan terdiri atas: 1. Batuan ultrabasa berumur Trias dengan arah polaritas $D= 268^\circ$, $I= -45^\circ$ telah berotasi mengiri 92° , posisi lintang purba pada saat batuan tersebut terbentuk -26.5°LS . 2. Kelompok *melange* berumur Kapur Akhir dengan arah polaritas $D= 330^\circ$, $I= -30^\circ$ rotasi mengiri 30° , posisi lintang purba -16.10°LS . 3. Formasi Tonasa umur Eosen Awal-Miosen Tengah dengan polaritas $D= 280^\circ$, $I= -28^\circ$ rotasi mengiri 80° , posisi lintang purba -14.8°LS . 4. Formasi Camba umur Miosen Tengah-Akhir arah polaritas $D= 279^\circ$, $I= -24^\circ$, rotasi mengiri 81° , posisi lintang purba -12.5°LS . 5. Batugamping Anggota Tacipi Formasi Walanae berumur Miosen-Tengah dengan arah polaritas $D= 280^\circ$, $I= -9^\circ$, rotasi mengiri 80° , posisi lintang purba -4.5°LS . 6. Batupasir Formasi Walanae pada lapisan atas umur Plistosen dengan arah polaritas $D= 358^\circ$, $I= -7^\circ$, rotasi mengiri sangat kecil antara $2^\circ - 0^\circ$, posisi lintang purba -3.5°LS , yang kedudukannya sudah sama dengan posisi sekarang. Analisis gaya berat, paleomagnetik, dan GPS (*Global Positioning System*) menunjukkan bahwa rotasi yang terjadi di Sulawesi Selatan sejak zaman Trias hingga sekarang adalah mengiri (*anticlockwise*), maka konsep pemekaran di Selat Makasar pada diagram Resen kurang dapat diterima. Posisi Kalimantan, dan Sulawesi mungkin pernah dekat, gejala ini terindikasi dari pergerakan Kalimantan ke arah selatan sejak zaman Trias Akhir -17°LS . Sulawesi pada umur yang sama bergerak ke arah utara pada lintang -16.1°LS . Kemudian kedua pulau tersebut bertemu dan sama-sama bergerak ke arah utara dengan rotasi mengiri sebesar $50^\circ - 92^\circ$. Kalimantan selama zaman Trias berasal dari bagian Benua Asia, sedangkan kelompok batuan di Sulawesi Selatan pada umur yang sama berasal dari selatan ekuator, kemudian bersama-sama terdorong ke utara akibat dorongan Benua Australia.

Kata kunci: pemekaran, paleomagnetik, berlawanan jarum jam, lintang, perputaran, kerak samudra, selat

ABSTRACT

Rocks formed in South Sulawesi consist of: 1. Ultramaphic rocks of Triassic age having the polarity $D= 268^\circ$, $I= -45^\circ$, rotation anticlockwise 92° , and paleolatitude position -26.50°S . 2. The melange complexes of Cretaceous age having the polarity $D= 330^\circ$, $I= -30^\circ$, rotation anticlockwise 30° and paleo latitude position -16.10°S . 3. Tonasa Formation of Middle Miocene-Early Eocene age having polarity $D= 280^\circ$, $I= -28^\circ$, rotation anticlockwise 80° and paleo latitude position -14.80°S . 4. Camba Formation of Middle-Late Miocene age having the polarity $D= 279^\circ$, $I= -24^\circ$, rotation anticlockwise 81° and paleo latitude position -12.5°S . 5. Limestones of Tacipi Member from Walanae Formation of Middle Miocene age, having polarity $D= 280^\circ$, $I= -9^\circ$ rotation anticlockwise 80° , and paleo latitude position -4.5°S . 6. Sandstone of Walanae Formation of Pleistocene age and upper layer having the polarity $D= 358^\circ$, $I= -7^\circ$, very small rotation anticlockwise between $0^\circ - 2^\circ\text{S}$ and paleo latitude position -3.5°S . Gravity analysis, Paleomagnetism and GPS analysis indicate that rotation occurred in South Sulawesi since Trias until now is anticlockwise. There for rifting concept in Makasar Strait at Recent diagram is less acceptable. Kalimantan and Sulawesi possible had ever closed as indicated from the movement of Kalimantan to the south since Late Trias at -17°S . At the same age Sulawesi moved northward to latitude -16.10°S . Then both islands were amalgamed and moved together northward with anticlockwise rotation between 50° to 92° . During the Trias age Kalimantan was derived from Asian Continent, while rock group in South Sulawesi at the same age were derived from south latitude and then moved together, by Australian continent movement.

Keywords: rifting, paleomagnetic, anticlockwise, latitude, rotation, sea floor, strait.

Naskah diterima : 05 Januari 2008
Revisi terakhir : 17 September 2009

PENDAHULUAN

Beberapa ahli kebumihannya banyak mengatakan bahwa dulunya Sulawesi Selatan dengan Kalimantan Selatan bagian timur pernah bersatu. Hal tersebut dicirikan oleh batuan yang terbentuk pada Mandala Sulawesi Selatan dari Kelompok Bantimala mirip dengan Kompleks Tinggian Meratus di Kalimantan. Kedua sisi pulau tersebut terpisah setelah adanya *rifting* di Selat Makasar pada Diagram Resen (Katili., 1978). Sunata dan Wahyono (1995) menulis Kalimantan dan lengan selatan Sulawesi telah menyatu setidaknya pada Kala Eosen. Pada saat itu lengan selatan Sulawesi mengalami rotasi mengiri sebesar 50°, sedangkan Kalimantan Selatan di daerah Batulicin mengalami rotasi mengiri sebesar 16°. Haile (1978) menyebutkan bahwa rotasi di lengan selatan Sulawesi ini telah terjadi antara Jura Akhir-Kapur Akhir. Sasajima (1979) menyebutkan rotasi mengiri sebesar 90° diakibatkan oleh dorongan Pulau Irian ke arah barat. Kedua ahli paleomagnet tersebut tidak mengatakan bahwa Sulawesi Selatan pernah bersatu dengan Kalimantan dan tidak mengatakan ke dua pulau tersebut terpisah diakibatkan "*rifting*" di Selat Makasar, seperti telah dinyatakan oleh para ahli lainnya.

Penelitian Paleomagnetik dan gaya berat di Sulawesi Selatan dilakukan untuk mempertajam beberapa pendapat tersebut di atas. Lokasi penelitian terletak di daerah Bantimala, Kabupaten Pangkajene, Cabenge, dan sekitarnya, Kabupaten Soppeng Lasita, dan Kabupaten Beru.

MAKSUD DAN TUJUAN PENELITIAN

Maksud penelitian adalah untuk mengetahui hubungan keterdapatan antara formasi batuan di Sulawesi Selatan dengan batuan di Kalimantan serta kaitannya dengan gerak tektonik yang saling menjauhi akibat "*rifting*" di Selat Makasar. Untuk mengetahui hal tersebut diatas, percontoh batuan paleomagnet diambil mulai dari umur tua hingga muda, dengan harapan, arah kemagnetan batuan pada saat batuan tersebut terbentuk serta posisinya dapat diketahui, sehingga rekonstruksi lintang purba yang mengalami pergerakan dan rotasi dapat ditentukan. Dari data terbaru ini diharapkan hubungan keterdapatan formasi batuan di Sulawesi Selatan dan Kalimantan dapat dibuktikan bahwa :

- Kedudukan Kalimantan dan Sulawesi selatan pada masa lalu (Paleogeografi).
- Ada atau tidaknya "*rifting*" di Selat Makasar.

- Paleogeografi Kalimantan diduga berasal dari Asia Tenggara dan Sulawesi berasal dari selatan ekuator.
- Posisi lintang purba dan rotasi ke dua pulau tersebut.
- Struktur regional kedua pulau tersebut.
- Kedudukan subduksi dan lain-lain.

Penelitian terpadu paleomagnet, gaya berat dan GPS (*Global Position System*) diharapkan dapat menguji hipotesis di atas, sehingga perkembangan evolusi tektonik tersebut dapat disusun di Sulawesi Selatan.

GEOLOGI UMUM DAERAH PENELITIAN

Tatanan tektonik di Indonesia Timur dikontrol oleh perkembangan tektonik dan pembentukan struktur geologi di Sulawesi. Hal tersebut diperkuat Sukamto (1982) bahwa Sulawesi bagian barat (Sulawesi Selatan sampai Sulawesi Utara). Sulawesi bagian timur dan kepulauan Banggai Sula dulunya merupakan bagian yang terpisah satu sama lain, dan membagi Sulawesi menjadi tiga Mandala Geologi yaitu: Mandala Sulawesi Barat, Mandala Sulawesi Timur, dan Mandala Banggai Sula. Mandala Sulawesi Barat merupakan bagian tektonik wilayah Asia, sedangkan bagian timur datangnya dari wilayah Australia, mungkin juga dari wilayah Pasifik. Mandala Sulawesi Barat ini merupakan kelanjutan dari busur kepulauan Indonesia Barat mulai dari Andaman, Sumatra, Jawa, Nusa Tenggara membelok ke Sulawesi membentang ke utara menuju Filipina dan Kepulauan Jepang. Daerah ini merupakan Palung Kapur Paleogen yang berkembang menjadi satu jalur gunung api Tersier bawah laut. Mandala ini diperkirakan terletak di atas jalur *benioff* dari tunjaman ke bawah lempeng. Sebelah timurnya bercirikan aktivitas kegiatan gunung apinya, terobosan-terobosan batuan bersifat asam. Batuan alas dari mandala ini adalah batuan metamorfosis berumur Pratersier dari kelompok sekis dan batuan ultrabasa yang terdapat di daerah Bantimala. Mandala Sulawesi bagian timur dicirikan oleh batuan ofiolit dengan penyebaran yang sangat luas, dan diperkirakan berasal dari dasar samudra atau kerak samudra (R. Sukamto, 1982), dan terbentuk pada pemekaran dasar samudra akibat pelelehan magma basa melewati punggung tengah samudra. Di bagian barat mandala ini dicirikan oleh batuan metamorfosis yang termasuk *Fasies Amphibolit Epidot*, *Fasies Glaukupan-Lowsonit*, dan *Fasies Sekis hijau*.

Mandala Banggai Sula merupakan daerah yang relatif mantap pada Mesozoikum, terdiri atas endapan sedimen yang tebal berumur Jura sampai Kapur, serta batuan gunung api Trias-Perem bersifat granitik. Kemudian, lempeng ini bergerak ke arah barat di sepanjang jalur Sesar Sorong, dan sejak Holosen bertemu dengan lempeng Sulawesi Timur. Dinamika gerakan tersebut yang diperlihatkan oleh sesar geser jurus dan sesar sungkup memberikan gambaran adanya tekanan mendatar Mandala Banggai Sula, dan lempeng sebelah timur mendorong ke arah barat. Gerakan-gerakan ini menyebabkan terjadinya lipatan kuat, dan diikuti oleh sesar sungkup pada Akhir Miosen Tengah di daerah bagian timur Sulawesi, serta Mandala Barat bagian tengah. Desakan ini menyebabkan terjadinya penunjaman pada Lempeng sebelah baratnya yang terindikasi dari tektonik yang masih aktif dengan kegempaan cukup tinggi di banyak tempat di wilayah ini (Sukanto, 1982). Penunjaman ini di bagian utara Sulawesi masih berlangsung sampai sekarang dan membentuk jalur Sesar Palu Koro mulai dari utara Palu hingga Teluk Bone dan merupakan sesar geser *sinistral*. Bentuk khas Sulawesi, Halmahera, dan Busur Banda yang seperti gelang adalah akibat pergeseran benua Australia menuju ke utara bergabung dengan Lempeng Pasifik dan kemudian bergeser ke barat dalam sistem sesar mendatar Sorong dan mendesak Sulawesi ke arah Benua Asia pada Miosen Tengah (Audley Charles 1974). Sukanto (1982) mengatakan terjadinya tekanan mendatar ke arah timur-barat di daerah Sulawesi Selatan menyebabkan terjadinya sesar sungkup yang mensesarkan batuan Kapur ke atas batuan Tersier di daerah Bantimala.

METODE PENELITIAN

Pengambilan percontoh batuan paleomagnetik dilakukan dengan mesin bor tangan berbentuk core dengan diameter 2.5 cm dipotong menjadi 1-6 spesimen dan dengan *hand sample*. Kemagnetan yang terukur oleh *Spinner Magnetometer* disebut *Natural Remanent Magnetization (NRM)*, yaitu kemagnetan primer yang diterima batuan pada saat batuan terbentuk, ataupun bisa terdiri atas campuran kemagnetan primer dan sekunder akibat terinduksi.

Kemagnetan primer dapat diperoleh dengan menghilangkan kemagnetan sekunder, yaitu melalui proses demagnetisasi bolak balik "*Schonsted GSD5*". Secara bertahap komponen kemagnetan sekunder

atau *Viscont Remanent Magnetization (VRM)* dapat dihilangkan.

Hasil pengukuran tahapan demagnetisasi dengan *Spinner Magnetometer* dapat menentukan deklinasi (D) dan inklinasi (I) serta intensitas kemagnetan dalam batuan, yang diplot dalam bentuk stereonet secara komputerisasi. Selanjutnya, setelah ditentukan arah kemagnetan primer dari tiap spesimen percontoh batuan, maka dicari nilai rata-rata yang merupakan arah kemagnetan dari batuan termaksud. Arah kemagnetan untuk satu site diperoleh dari nilai rata-rata seluruh spesimen dari beberapa core dalam site itu. Nilai rata-rata semua site dalam suatu singkapan batuan merupakan arah kemagnetan satuan batuan tersebut yang merupakan arah kemagnetan suatu formasi. Kemagnetan terukur mengindikasikan arah pergerakan batuan pada umur tertentu. Arah dan pergerakan kemagnetan yang dikorelasikan dengan pergerakan batuan yang sedang berlangsung saat ini dapat diketahui dari hasil pengamatan GPS (*Global Position System*). Peta anomali Bouguer dan pemodelan dibuat dari data base milik Pusat Survei Geologi yang mengindikasikan zona subduksi di selatan Pulau Jawa menerus ke Laut Banda dan Filipina terkait dengan pergerakan lempeng yang sedang berlangsung sekarang.

HASIL PENELITIAN

Ultrabasa

Kompleks Batuan Ultrabasa berumur Trias yang tersingkap di daerah Bantimala dan sebelah selatan Baru dikenal sebagai Bancuh Pangkajene yang tersebar di kompleks *Melange* Bantimala dan terdiri atas batuan campur aduk (*Chaotic rocks*). Batuan tersebut tersingkap dan diperkirakan seluas 350 m², berumur Trias dengan penyebaran cukup luas ke arah Baru. Satuan ini tebalnya tidak kurang dari 2500 m, dengan struktur berlapis serta kebanyakan terbreksikan, dan tergerus oleh sesar naik. Pengukuran percontoh paleomagnet (Tabel 1) serpentin berwarna hijau kehitaman dengan pengukuran *demagnetisasi* secara bertahap sampai 1000 orsted menghasilkan arah polaritas $D = 268^\circ$, $I = -45^\circ$, $\alpha_{95} = 13,8^\circ$. Nilai kemagnetan tersebut kurang stabil hingga akhir pengukuran *demagnetisasi*, tapi memberikan arah kemagnetan mengelompok. Arah polaritas kemagnetan batuan tersebut sejak Trias sebesar 268° yang berarti mengalami rotasi mengiri 92° . Rotasi tersebut

Tabel 1. Hasil Pengukuran Kemagnetan Percontoh Batuan dari Sulawesi Selatan

Lokasi	Jenis Batuan	Umur	Formasi	D?/I?	a 95?	K
Ss 01	Batugamping	Eosen Awal-Miosen Tengah	Tonasa	280?/- 28?	23,8	
Ss 02	Batugamping	Eosen Awal-Miosen Tengah	Tonasa	280?/- 28?	23,8	
Ss 03	Lempung Merah	Kapur Akhir	Balangboru	330?/-30?	10,7	4,5
Ss 04	Lempung Merah	Kapur Akhir	Balangboru	330?/-30?	10,7	4,5
Ss 05	Ultrabasa	Trias	Bantimala	268?/-45?	13,8	
Ss 06	Ultrabasa	Trias	Bantimala	268?/-45?	13,8	
Ss 07	Batupasir	Miosen Tengah - Akhir	Camba	279?/-24?	15,0	4,5
Ss 08	Batupasir	Miosen Tengah-Pliosen	Walanae	288?/-9?	10,0	5,9
Ss 09	Batupasir	Plistosen	Walanae	358?/-7?	5,6	41,6
Ss 10	Batugamping	Miosen Tengah-Pliosen	Anggota Tacipi	380?/-9?	10,0	
Ss 11	Lava	Pliosen	vulkanik	267?/7?	14,0	7,6
Ss 12	Batupasir	Miosen Tengah-Pliosen	Walanae	0?/16?	28,0 *)	

Keterangan:

- D = Deklinasi terhadap utara geografis
- I = Inklinasi (nilai positif/negatif kearah bawah/atas terhadap bidang horizontal)
- a 95? = Nilai jari-jari sudut pada tingkat probabilitas 95% berada disekitar arah rata-rata
- *) = Tidak dimasukkan dalam perhitungan

menyebabkan batuan ultrabasa yang terdapat di Sulawesi Selatan dan Timur kemungkinan terdorong ke arah barat. Hasil perhitungan lintang purba pada saat batuan terbentuk berada pada inklinasi - 26.5° LS di bawah garis khatulistiwa, ini berarti batuan tersebut masih sangat dekat dengan Benua Australia pada umur Trias. Pergerakan tersebut ke arah utara setelah adanya pemekaran kerak samudra sampai ke subduksi Banda sebagai akibat pecahnya Benua Australia dengan benua Antartika pada umur Paleozoikum (Gambar 2) (Made, I, dan Andi, 2006). Sementara rotasi yang terbentuk di daerah penelitian diakibatkan oleh dorongan Benua Australia, kemudian bertabrakan dengan Irian Jaya disertai desakan ke arah barat sepanjang sistem sesar mendatar Sorong.

Melange Bantimala

Satuan batuan ini berumur Kapur Akhir, merupakan bagian Tektonik Bantimala terdiri dari batulempung merah tersingkap dengan baik di Desa Bantimala. Berdasarkan ciri batumannya diduga merupakan

bagian dari Formasi Balangboru dengan ketebalan tidak kurang dari 1750 m, dengan batas sentuhan sesar terhadap satuan batuan di sekitarnya. Hasil pengukuran paleomagnet menunjukkan arah orientasi kemagnetan stabil hingga tahapan demagnetisasi 1000 orsted dengan arah rata-rata D = 3300, I = - 30°, 95 = 10,7° dengan rotasi mengiri 30°, sehingga arah ini konsisten dengan hasil penelitian dari Mubroto, (1988) yang menyimpulkan adanya rotasi mengiri sebesar 30° sementara Haile (1978) mendapatkan D= 332,5°, I= -14,9°. Perhitungan lintang purba kelompok batuan ini terbentuk pada inklinasi -16.1°LS. Posisinya jauh di selatan Katulistiwa, sehingga batuan ini pada umur tersebut masih dekat dengan benua Australia. Terbentuknya sudut rotasi yang mengecil umur Trias pada ultrabasa – Kapur Akhir dari *Melange* Bantimala pada 268° ke 330° menandakan terjadi perubahan arah rotasi menganan sebesar 62°. Hasil penelitian ini didukung oleh Haile (1978) yang menyebutkan bahwa rijang berumur Jura Akhir hingga Kapur Awal di lengan barat Sulawesi Selatan telah mengalami

rotasi menganan sebesar 35° . Dari data tersebut di atas dapat disimpulkan telah terjadi tektonik yang kuat antara Trias – Kapur Akhir di Kompleks Bantimala hingga membentuk sentuhan sesar dengan rotasi membalik dengan batuan disekitarnya. Sukamto (1982) mengatakan terjadinya tekanan mendatar ke arah timur - barat di Sulawesi Selatan menyebabkan terjadinya sesar sungkup yang mensesarkan batuan Kapur ke atas batuan Tersier di daerah Bantimala. Adanya tektonik yang kuat juga dapat dibuktikan dari rotasi Formasi Tonasa berumur Eosen Awal – Miosen Tengah hampir sama dengan batuan yang berumur Trias yaitu $D = 280^\circ$, $I = -28^\circ$. Rotasi yang mengecil tersebut terjadi hingga Miosen Akhir dari Formasi Camba. Walaupun formasi batuan yang terbentuk di Sulawesi Selatan pada umur tersebut mengalami rotasi yang lemah, akan tetapi gerakan ke arah utara sangat intensif. Rotasi menganan diduga disebabkan oleh pergeseran sesar mendatar arah timur-barat di Selat Makasar antara Kalimantan dengan Sulawesi Selatan.

Formasi Tonasa

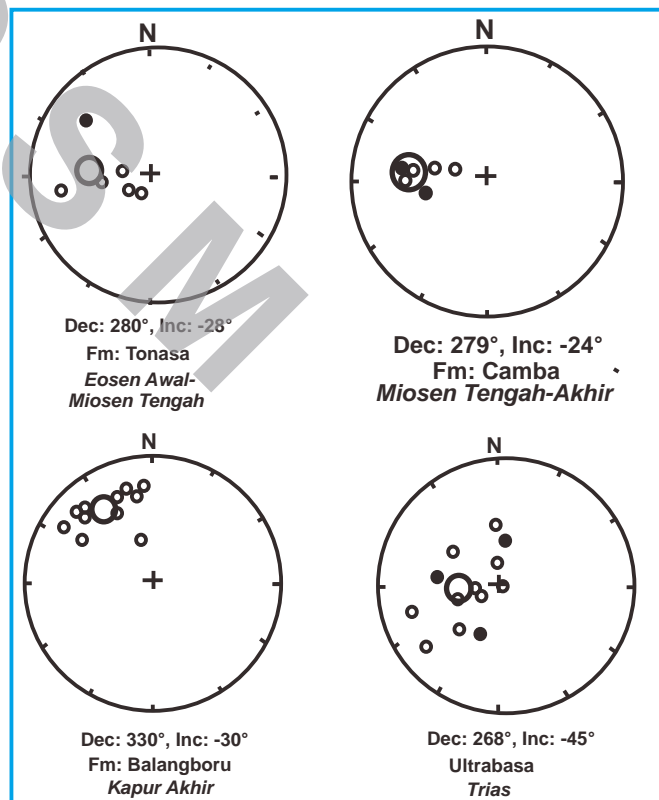
Satuan batuan ini berumur Eosen Awal-Miosen Tengah (Gambar 1), dan terdiri atas batugamping berlapis baik dengan kemiringan hampir horizontal berwarna putih hingga kelabu muda. Pada satuan ini terdapat juga batugamping bioklastik putih dengan ketebalan berkisar 3000 m dengan sebaran yang luas. Penelitian paleomagnet terhadap kelompok batuan tersebut diatas telah mendapatkan polaritas kemagnetan yang kurang stabil.

Kondisi tersebut diatas karena batuan ini kurang mengandung mineral magnet, sehingga pengukuran *Spinner Magnetometer* hanya mampu hingga 150 *orsted* dengan demagnetisasi kelipatan 25 *orsted* dengan posisi kemagnetan mengelompok. Analisis menunjukkan arah polaritas kemagnetan dengan $D = 280^\circ$, $I = -28^\circ$, $\alpha_{95} = 23,8^\circ$. Rotasi yang terbentuk pada batuan ini mengiri sebesar 80° . Perhitungan posisi lintang purba menunjukkan inklinasi -14.80° LS sehingga satuan batuan ini juga terbentuk di selatan khatulistiwa. Sudut pergerakan batuan ini tidak jauh berbeda dengan Kompleks Batuan Ultrabasa, yaitu $D = 268$, dan $D = 280$. Berarti rotasi ke barat cukup kecil yang menandakan tektonik pada Formasi Tonasa lemah yang juga

tercermin dari perlapisan batuan hampir horizontal, akan tetapi pergerakan yang intensif ke arah utara terus berlangsung.

Formasi Camba

Batuan ini terdiri atas batupasir lempungan berumur Miosen Tengah - Akhir dan tersingkap baik dengan perlapisan selang-seling berkisar 40 cm dengan ketebalan ± 5000 m. Pengukuran kemagnetan batuan cukup stabil hingga *demagnetisasi 1000 orsted* dengan arah polaritas kemagnetan $D = 279$, $I = -240^\circ$ LS, $N = 6$, $R = 4,1$, $\alpha_{95} = 15,0^\circ$, $K = 4,5$. Arah kemagnetan tersebut (Gambar 1) tidak jauh berbeda dengan yang lainnya dengan rotasi mengiri 81° kedudukan batuan ini dari perhitungan lintang purba terbentuk pada -12.50° LS yang berarti kelompok batuan ini juga masih terbentuk di selatan garis khatulistiwa. Rotasi kemagnetan dengan umur Eosen Bawah – Miosen Akhir pada Formasi Tonasa sangat kecil, sehingga hubungan tektonik antara kedua formasi ini juga cukup lemah kecuali gerakan ke utara terus berlangsung.



Gambar 1. Secara umum, arah kemagnetan di Sulawesi Selatan sejak Trias Hingga - Miosen Tengah - Akhir adalah mengiri (*anticlockwise*), akan tetapi pada Formasi Balangboru (Kompleks Bantimala) terjadi rotasi menganan (*Clockwise*) sebesar 62° . Kemudian pada Formasi Tonasa Eosen Awal- Miosen Tengah kembali berputar mengiri sebesar 30° .

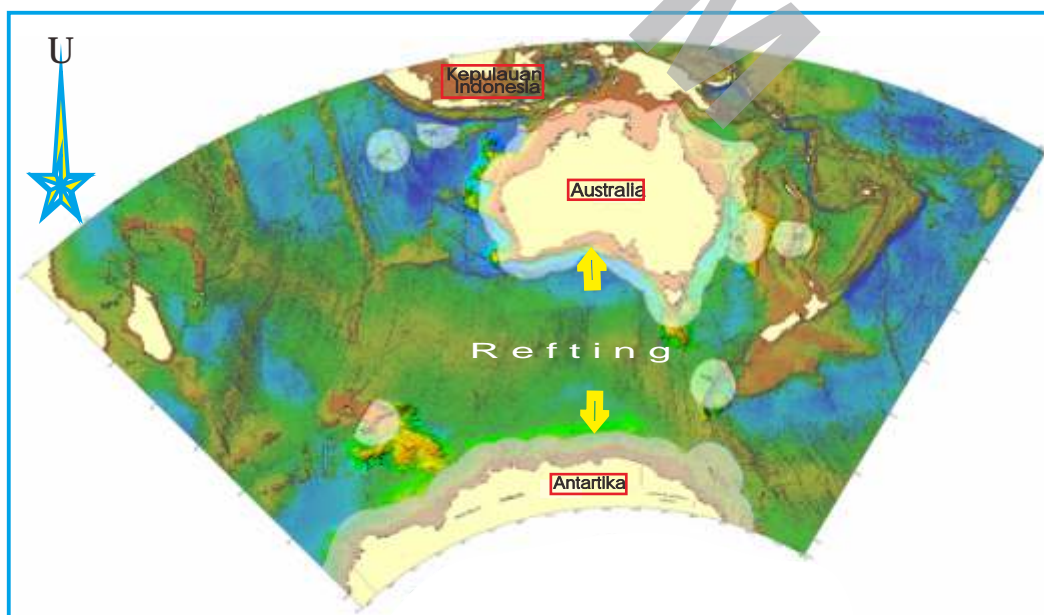
Formasi Walanae

Formasi batuan ini berumur Miosen Tengah-Pliosen (Gambar 3) tersingkap sangat baik, terdiri atas batupasir berselingan dengan batulanau, batulempung, konglomerat, dan batugamping. Pada formasi ini terdapat Fauna Walanae tempat ditemukannya fosil tulang gajah purba (*Archidiseodon Celebensis*). Lintasan pengukuran terhadap singkapan batuan dimulai dari Baru hingga Cabenge (Saultan Panjaitan dan Mubroto, 1993) dari lapisan terbawah hingga lapisan teratas di daerah Sengkang, Lonrong dan Lakibang. Penelitian kemagnetan terhadap batupasir pada lapisan bawah menunjukkan tahapan *demagnetisasi* maksimum 700 *orsted* arah kemagnetan cukup stabil dengan $D = 288^\circ$, $I = -9^\circ$, $N = 10$, $R = 9,2$, $\alpha_{95} = 10^\circ$, $K = 5,9$. Batugamping Anggota Tacipi dari formasi Walanae di daerah selatan Soppeng mempunyai arah kemagnetan $D = 280^\circ$, $I = -9^\circ$ rotasi mengiri 80° dengan demikian hubungan kemagnetan antara Formasi Walanae dan Anggota Tacipi adalah selaras. Posisi lintang purba terletak pada -4.5° LS sehingga terbentuknya batuan ini sudah hampir mendekati posisi seperti saat sekarang ini.

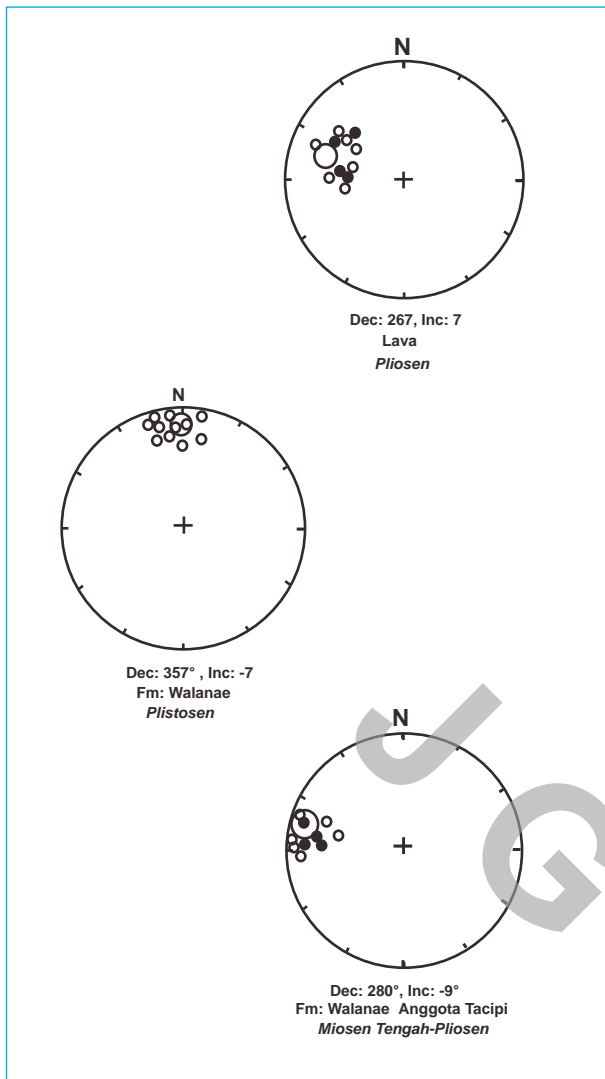
Satuan Batupasir

Satuan Batupasir yang ditemui kurang kompak dengan perlapisan mendatar terbentuk di bagian atas, dan tidak dapat dipisahkan dari Formasi Walanae. Menurut Aziz, (1987) batupasir ini berumur Plistosen dan merupakan bagian paling atas dari Formasi Walanae dan mengandung fosil gajah purba. Satuan batuan yang lebih muda ini membentuk polaritas $D = 358^\circ$, $I = -7^\circ$, $N = 11$, $R = 10,7$, $\alpha_{95} = 5,6^\circ$, $K = 41,6$ yang berarti kemagnetan tersebut saat terbentuk sudah menunjukkan ke arah utara dengan rotasi hampir 0° .

Perhitungan lintang purba pada batuan ini menunjukkan $I = -3.5^\circ$ LS sehingga satuan ini terbentuk hampir tepat pada posisi lintang sekarang ini. Proses tektonik belum tampak, baik dari rotasi maupun gerakannya. Sehingga arah polaritas yang terbentuk pada lapisan batuan yang berumur tua dan muda terdiri atas dua arah yang disebabkan oleh perbedaan umur dari lapisan teratas batupasir. Antara formasi Walanae pada umur Miosen Tengah - Akhir hingga Plistosen membentuk sudut deklinasi sebesar 78° dengan rotasi manganan $D = 279$, dan 358° . Sehingga perputaran tektonik ke arah timur lebih kuat daripada desakan Sesar Sorong ke arah barat, hingga memutar Sulawesi Selatan ke arah tegak seperti pada kedudukan sekarang.



Gambar 2. Pergerakan benua Australia ke arah utara yang diakibatkan oleh pemekaran lantai kerak Samudra membentuk rifting antara benua Antartika dengan Benua Australia. dimulai sejak Paleozoikum mengakibatkan Sulawesi Selatan bergerak ke Utara (Made, I., Andi, Arsana., 2006).



Gambar 3. Arah kemagnetan di Sulawesi Selatan sejak Miosen Tengah - Pliosen adalah mengiri (*anticlockwise*), akan tetapi antara Formasi Walanae dan Anggota Tacipi berputar mengangan (*anticlockwise*) sebesar 78° dan sekarang arah kemagnetan hampir 0° .

Lava

Batuan ini menurut Sukamto (1982) termasuk ke dalam batuan gunung api Formasi Camba. Penulis bersama-sama dengan peneliti Perancis dan ITB pada tahun 1991 melakukan pengambilan percontoh Paleomagnetik dari lava yang sama dan menentukan umur batuan tersebut berkisar 4,6 juta tahun, dan dapat dikelompokkan ke dalam Pliosen dan mempunyai arah kemagnetan yang stabil hingga demagnetisasi 1000 orsted (Gambar 3). Polaritas kemagnetan $D = 267^\circ$, $I = 7^\circ$, $N = 11$, $R = 9,6$, $\sigma_{95} = 14,0^\circ$, $K = 7,6$. Arah tersebut kemungkinan merupakan arah kemagnetan sekunder atau primer yang telah terganggu.

Dinamika Kemagnetan Sulawesi

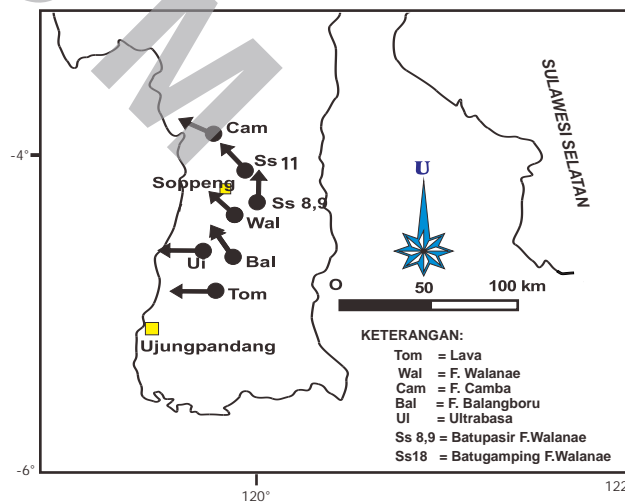
Rotasi kemagnetan yang telah terbentuk di Sulawesi Selatan sejak Trias secara keseluruhan (Gambar 4) adalah mengiri sebesar 92° , Kapur Akhir 30° , Eosen Awal-Miosen Tengah 80° , Miosen Tengah-Akhir 81° , Miosen-Pliosen 80° , Plistosen $2^\circ - 0^\circ$. Dinamika pergerakan dan perputaran diakibatkan oleh desakan yang menerus dari Lempeng Eurasia ke arah Tenggara, Lempeng Indio-Australia ke arah utara, dan Lempeng Pasipic ke arah barat (Gambar 5). Akibat desakan lempeng-lempeng tersebut terbentuk jalur subduksi dan struktur-struktur patahan yang kemudian membentuk rotasi serta gerakan secara terus-menerus. Tektonik yang sangat kuat di Sulawesi Selatan terindikasi dari rotasi kemagnetan batuan berumur Miosen-Pliosen sebesar $72-76^\circ$ kemudian mengecil pada Plistosen sebesar 3° . Pada saat sekarang yaitu umur Kuartar perputaran belum tampak seperti yang terindikasi dari percontoh batuan Ss 09. Adanya persamaan rotasi mengiri dari Kalimantan dan Sulawesi Selatan konsisten dengan Sasajima, (1979). Antara Kalimantan dan Sulawesi Selatan sejak Kapur kedua pulau itu mungkin pernah berdekatan. Hal tersebut dapat dibuktikan bahwa posisi Kalimantan umur Trias terletak di utara garis ekuator pada inklinasi 10° , kemudian bergerak menjauhi Benua Asia ke arah selatan. Pada umur Trias Ahir bergerak melampaui garis ekuator dan berhenti pada inklinasi -17° LS, dan pada posisi lintang ini diduga kedua pulau tersebut berdekatan. Pada saat yang bersamaan Kelompok Bantimala di Sulawesi Selatan pada Kapur Ahir bergerak ke utara dan berhenti pada $-16^\circ 1' LS$.

Dari Paleolatitide gerakan polder lengan barat Sulawesi Selatan (Gambar 6) disimpulkan bahwa seluruh batuan yang terbentuk di Sulawesi Selatan berasal dari selatan ekuator. Sejak umur Trias posisi lintang purba terletak pada $-26,5^\circ LS$, Kapur Akhir $-16,1^\circ LS$, Eosen Awal - Miosen Akhir $-14,8^\circ LS$, Miosen Tengah - Akhir $-12,5^\circ LS$, Miosen Tengah - Pliosen $4,5^\circ LS$, dan Plistosen Akhir $-3,5^\circ LS$. Posisi Kalimantan pada umur Trias terbentuk jauh di utara katulistiwa mendekati inklinasi $10^\circ LS$ (Gambar 7). Sejak Trias Ahir Kalimantan bergerak ke arah selatan menjauhi Benua Asia hingga melampaui garis ekuator pada $-17^\circ LS$. Dari perhitungan Paleolatitide disimpulkan bahwa Kalimantan berasal dari Asia

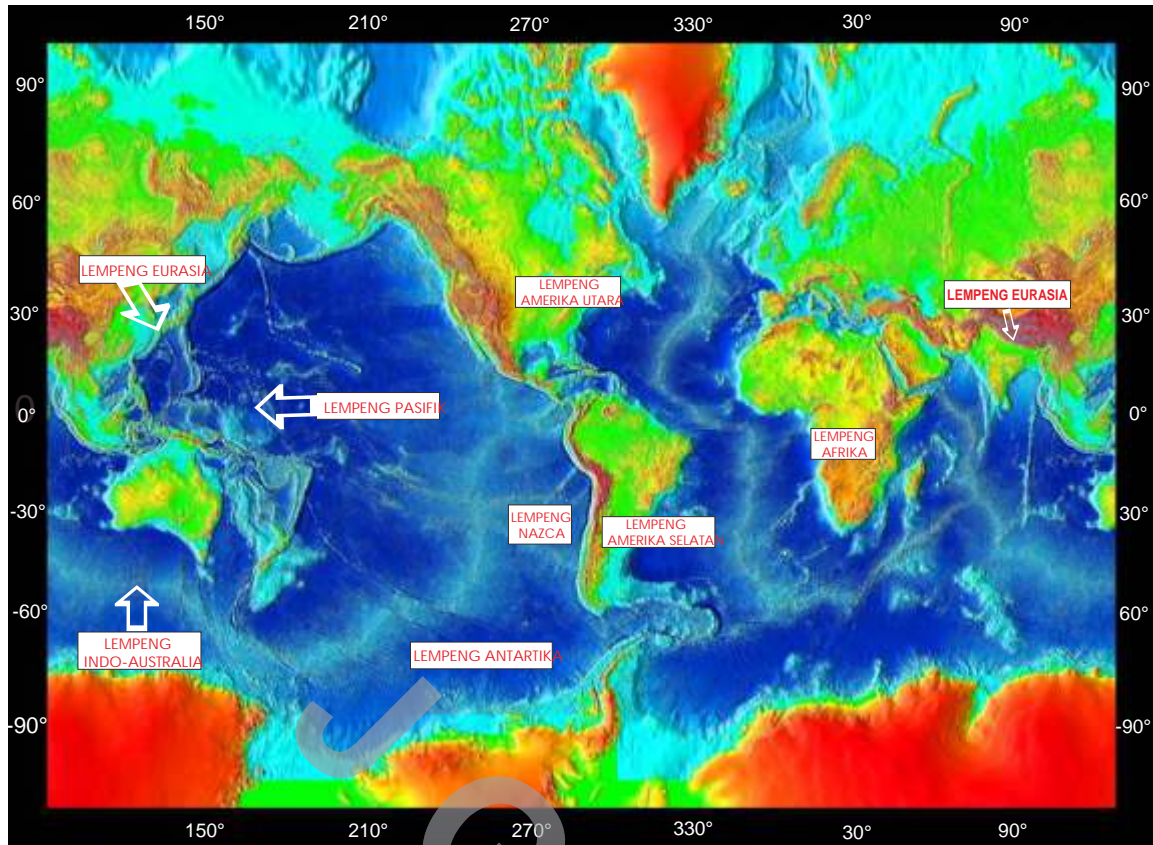
Tenggara pada umur Trias. Kedua pulau tersebut pada Trias Akhir sama-sama bergerak ke arah utara pada umur Jura dengan rotasi mengiri. Sulawesi yang pada Trias terbentuk jauh di selatan khatulistiwa, merupakan bagian dari selatan pinggiran benua Australia, kemudian sejak umur Trias Akhir bergerak terus ke arah utara hingga pada posisi sekarang. Rekonstruksi lintang purba antara Kalimantan dan Sulawesi Selatan dapat dilihat pada (Gambar 8). Sementara Gambar 9 menunjukkan pergerakan rotasi bersama-sama mengiri sebesar 50° pada Kalimantan, dan 92° untuk Sulawesi Selatan. Rotasi tersebut semakin kecil hingga mendekati posisi lintang sekarang.

Adanya *rifting* pada Diagram Resen di selat Makasar tidak tampak. Hal tersebut dapat dilihat pada peta dan penampang anomali Bouguer (Gambar 10, 11) yang memisahkan Kalimantan dengan Sulawesi Selatan. Anomali Bouguer di daerah tersebut dicirikan oleh nilai rendah dari 0 mgal hingga -120 mgal yang terbentuk sepanjang Selat Makasar sampai ke Sulawesi Utara membentuk Palung Laut dalam. Palung laut dalam tersebut dapat dilihat dari kenampakan peta topografi bawah laut dan tidak membentuk topografi "*rifting*" (Gambar 2 dan 12) membentuk jalur subduksi ke arah timur memanjang dari utara Sulawesi, hingga ke Selat Makasar. Daerah tersebut tidak ada kesan membentuk "*rifting*", karena apabila terjadi pemekaran kerak samudra maka akan membentuk punggung di sepanjang Selat Makasar akibat keluarnya magma basaltik ke permukaan kemudian membentuk patahan-patahan mendatar (*transform fault*) berbentuk "*nappe*" seperti yang tercermin pada "*rifting*" (Gambar 5). Aktifitas zona subduksi tersebut ditandai dengan kegempaan cukup tinggi dibanyak tempat, terutama dari aktifitas G. Api di selatan Sulawesi Utara sampai sekarang Katili, (1978). Adanya "*rifting*" yang terbentuk di Selat Makasar Katili, (1978) tidak terbukti dan tidak mendukung dari data-data tersebut di atas. Demikian juga tampilan peta digital isokron dasar laut (Muller, R.D. dr., 1998) bahwa umur batuan berumur muda (warna kemerahan) yang terbentuk di daerah

"*rifting*" di Selat Makasar (Gambar 13) tidak ditemukan. Korelasi data paleomagnetik dengan GPS oleh Andrea Walpersdorf, dr., (1997) di Sulawesi Selatan pada umur Kuartar, (Gambar 14) dapat dilihat rotasi yang sedang berlangsung saat ini relatif mengiri. Sehingga apabila terjadi "*rifting*" pada Diagram Resen maka arah kemagnetan maupun data GPS dari Lengan Sulawesi Selatan seharusnya menganan bukan sebaliknya. Dari data tersebut di atas dapat disimpulkan rotasi Sulawesi Selatan maupun Kalimantan yang sedang berlangsung hingga sekarang sama-sama mengiri. Rotasi tersebut diakibatkan pergerakan sesar Sorong ke arah barat dengan kecepatan $9,0$ cm/thn (Andrea, dr.,1997) sedangkan kecepatan Lempeng Australia lebih rendah dan hanya $7,5$ cm/thn oleh karena itulah rotasi lebih kuat ke arah barat. Struktur sesar terbentuk di Selat Makasar antara Kalimantan dan Sulawesi dapat dilihat pada (Gambar 15) dimana Selat Makasar membentuk subduksi, membentuk jalur sesar Palu Koro hingga Teluk Bone akibat desakan subduksi di utara Sulawesi. Sesar-sesar mendatar juga banyak terdapat diantara Kalimantan dan Sulawesi umumnya berarah barat daya - timur laut.



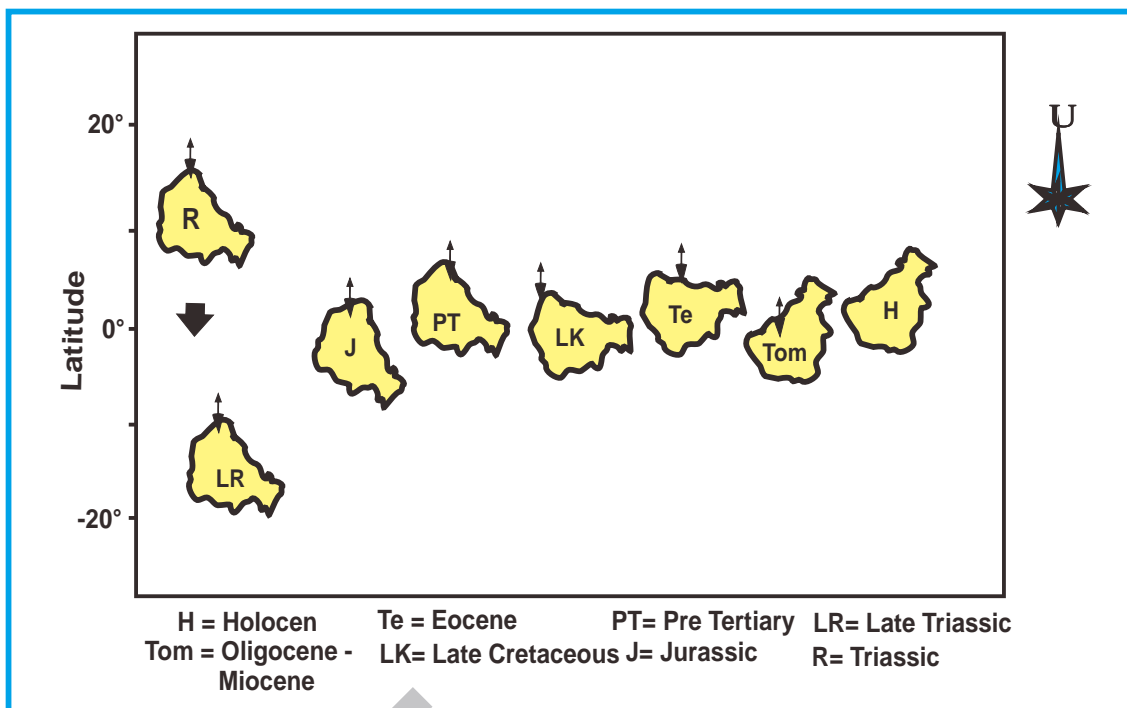
Gambar 4. Arah kemagnetan formasi batuan yang memperlihatkan rotasi kemagnetan berlawanan arah jarum jam sebesar 92° di daerah Bantimala dan sekitarnya, Sulawesi Selatan.



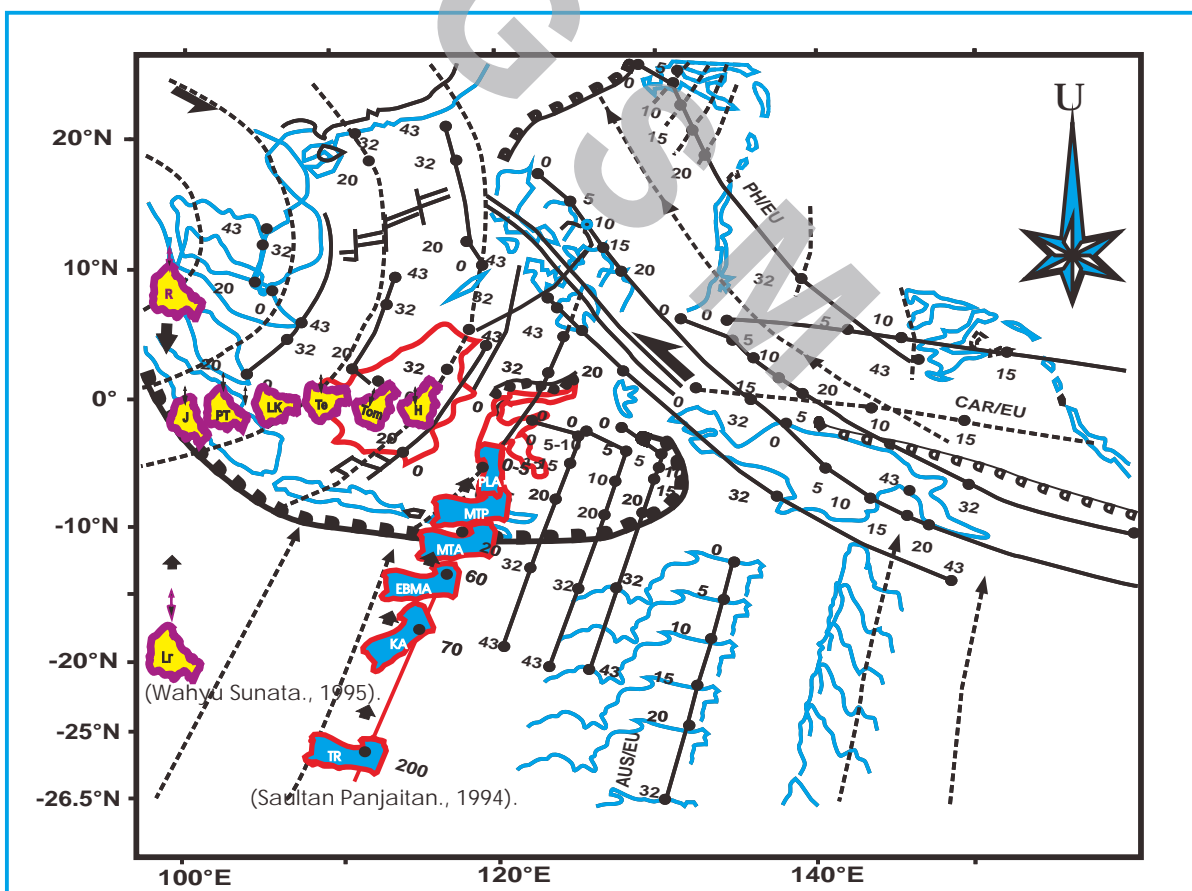
Gambar 5. Tektonik lempeng dunia memperlihatkan tektonik kepulauan Indonesia dibentuk oleh Lempeng Pasifik bergerak relatif ke arah barat, Lempeng Indo-Australia ke utara, dan lempeng Eurasia ke tenggara. *Rifting* dan sesar mendatar dalam skala besar tampak terbentuk di dasar samudra, sedangkan antara Kalimantan dan Sulawesi tidak tampak (Amante,C.,dan Eakins.,



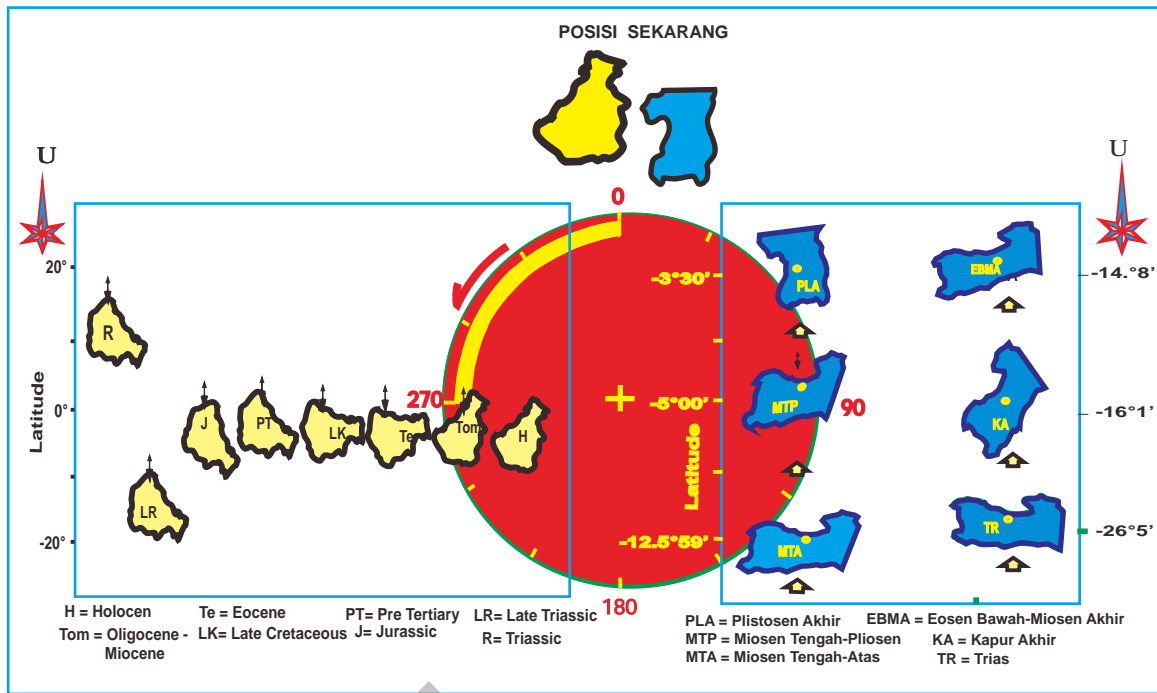
Gambar 6. Paleolatitudo dan rotasi Sulawesi Selatan.



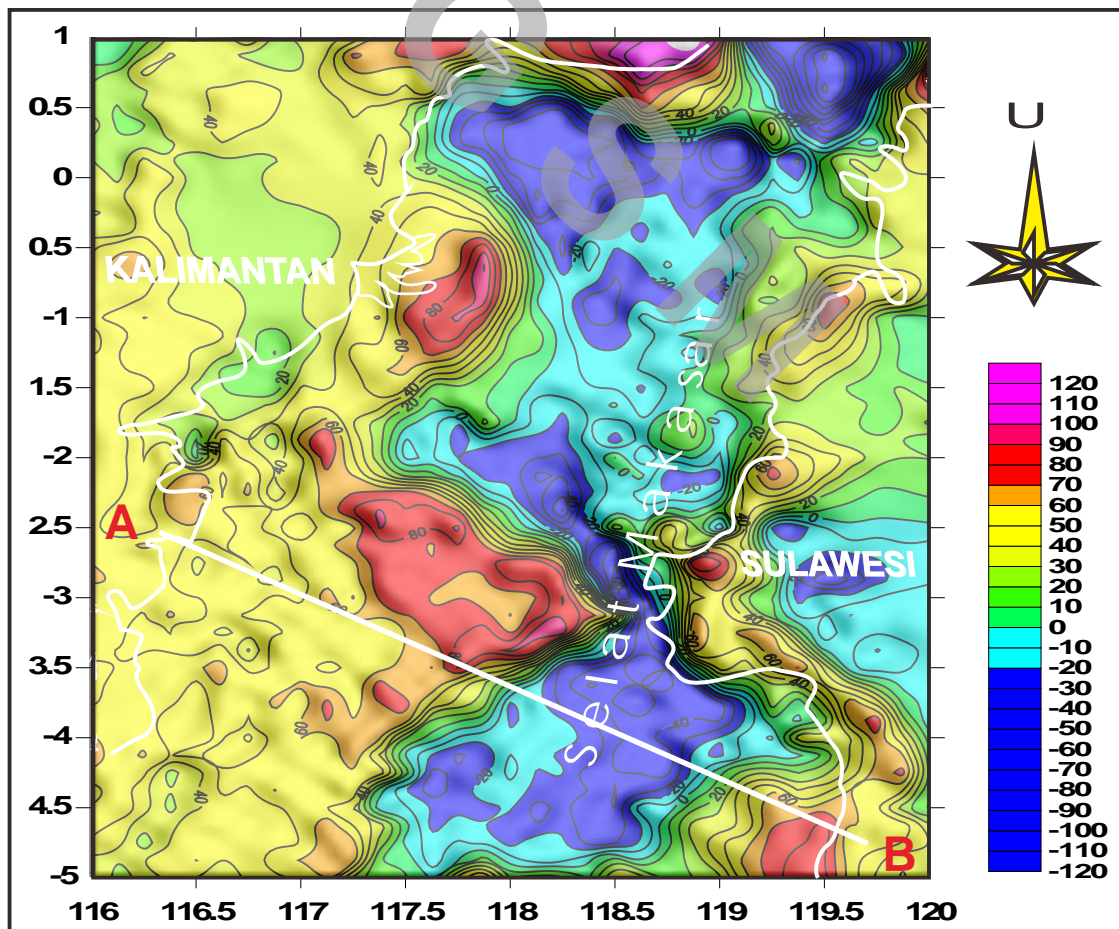
Gambar 7. Paleolatitudo dan rotasi Pulau Kalimantan (Sunata dan Wahyono.,1987).



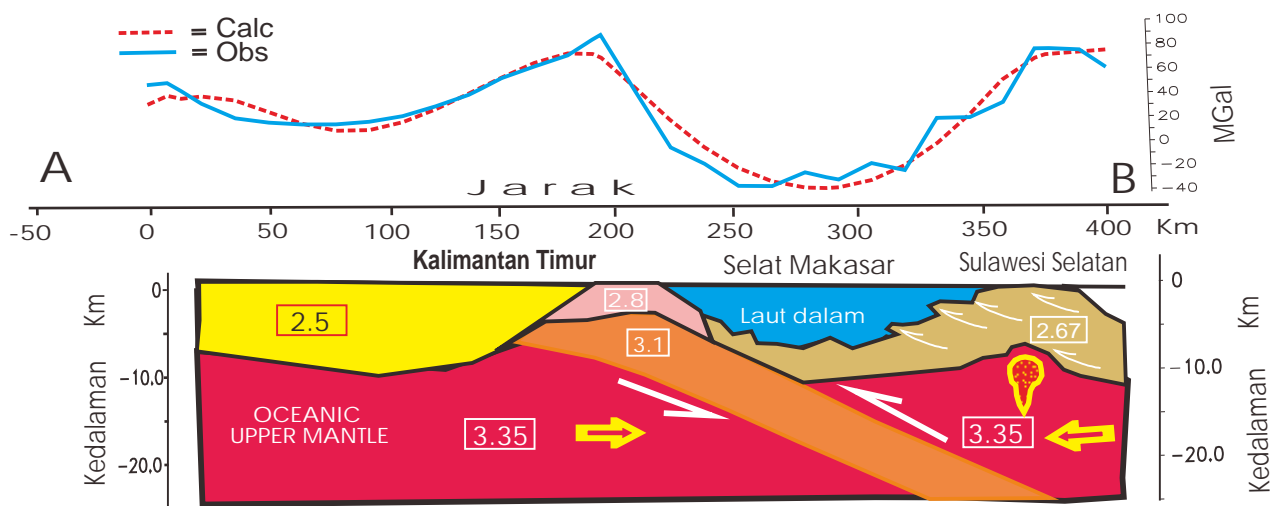
Gambar 8. Pergerakan lempeng Filipina, Indonesia, dan Australia disederhanakan dari memperlihatkan Sulawesi Selatan berasal dari selatan bergerak ke arah utara (Rangin, *et al.*,1990).



Gambar 9. Rotasi Kalimantan sejak zaman Trias adalah *anticlockwise* sebesar 50° dan Sulawesi mencapai 92° yang menggambarkan kedua pulau tersebut sama-sama mengalami perputaran mengiri (Sunata dan Wahyono, 1987).



Gambar 10. Peta *image* anomali Bouguer daerah Selat Makasar memperlihatkan anomali 0 hingga - 120 mgal, (Panjaitan, 2009).

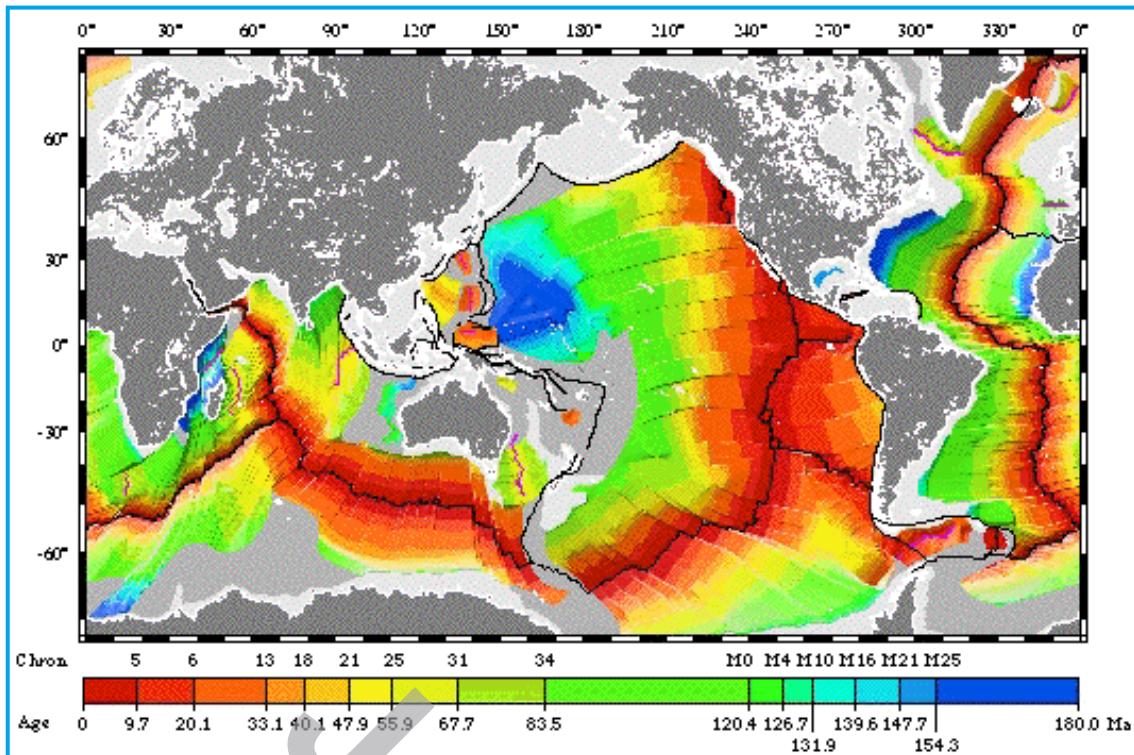


- Keterangan:**
- 2.5 Cekungan sedimen
 - 2.8 Metamorfite/Ultramafite Meratus
 - 2.67 Batuan vulkanik, dan Kompleks Bantimala

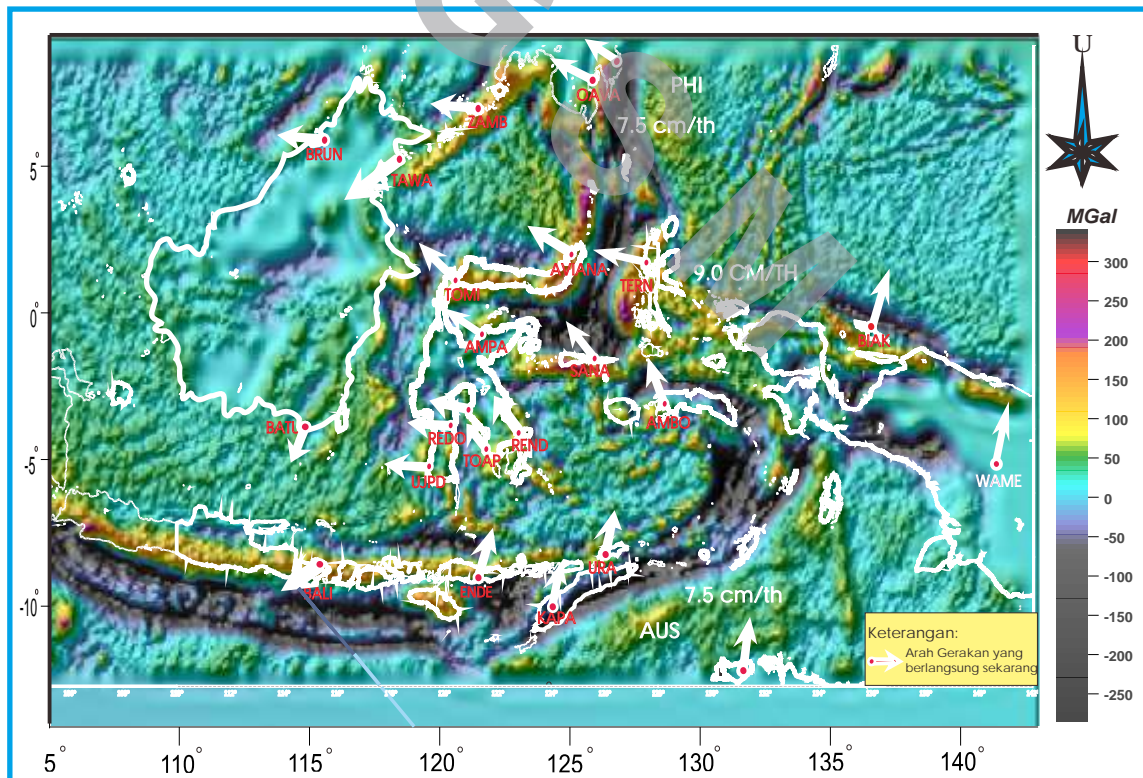
Gambar 11. Penampang A - B Anomali Bouguer Selat Makasar memperlihatkan arah subduksi miring ke arah timur Sulawesi (Panjaitan., 2009).



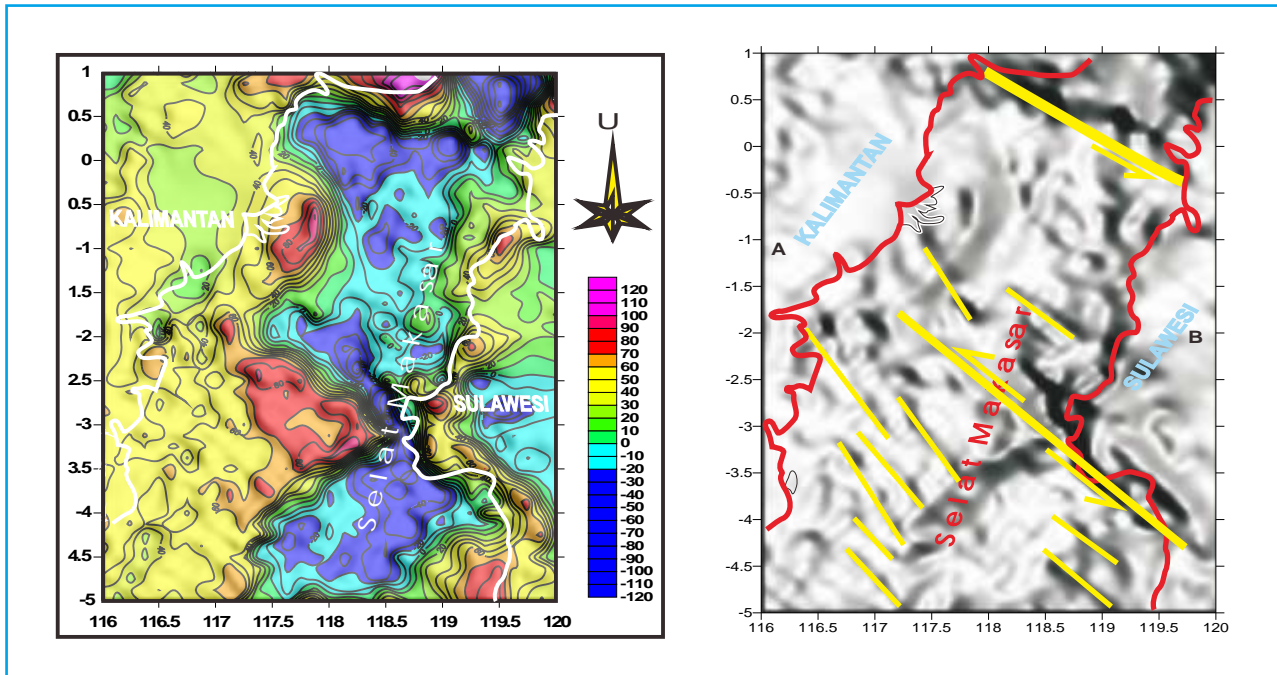
Gambar 12. Topografi bawah laut kepulauan Indonesia memperlihatkan palung laut dalam membentuk subduksi antara Kalimantan ke arah Sulawesi dan topografi *rifting* tidak tampak di Selat Makasar (Smit., Sandwele., 2003).



Gambar 13. Peta Isokrom digital pada lantai Kerak Samudra memperlihatkan *rifting* global, terbentuknya batuan yang berumur lebih muda yang membentuk *rifting* antara Kalimantan dan Sulawesi Tidak Tampak (Muller, *et al.*, 1998).



Gambar 14. Peta image gaya berat Indonesian (Panjaitan., 2009) memperlihatkan anomali terendah terbentuk di jalur subduksi antara Kalimantan dan Sulawesi arah subduksi miring ke timur Selat Makasar. Pengamatan GPS Walpersdorf, *et al.*, (1997) tanda panah memperlihatkan arah pergerakan seismik yang sedang berlangsung saat ini adalah menganan (*anticlockwise*) dan membuktikan arah kemagnetan purba terbentuk ke arah yang sama sesuai dengan tektonik yang terbentuk di Indonesia, dan penampakan anomali bouguer tidak terkesan membentuk *rifting* di Selat Makasar.



Gambar 15. Perkiraan sesar mendatar yang terbentuk di Selat Makassar arah barat laut - Tenggara.

KESIMPULAN

- Pergerakan seluruh batuan yang terbentuk di Sulawesi Selatan adalah dari arah selatan disertai rotasi mengiri yakni pada : Batuan ultrabasa umur Trias arah polaritas $D = 268^\circ$, $I = -45$ telah berotasi mengiri 92° posisi lintang purba pada saat batuan tersebut terbentuk adalah $-26.5^\circ LS$. Kelompok melange umur Kapur Akhir arah polaritas $D = 330^\circ$, $I = -30^\circ$ rotasi mengiri, 30° posisi lintang purba $-16.^\circ LS$. Formasi Tonasa umur Eosen Awal-Miosen Tengah polaritas $D = 280^\circ$, $I = -28^\circ$ rotasi mengiri 80° posisi lintang purba $-14.80 LS$. Formasi Camba umur Miosen Tengah-Akhir arah polaritas $D = 279^\circ$, $I = -24^\circ$ rotasi mengiri 81° posisi lintang purba $-12.5^\circ LS$. Batugamping Anggota Tacipi Formasi Walanae berumur Miosen-Tengah arah polaritas $D = 280^\circ$, $I = -9^\circ$ rotasi mengiri 80° posisi lintang purba $-4.5 LS$. Batupasir Formasi Walanae pada lapisan atas umur Plistosen arah polaritas $D = 358^\circ$, $I = -7^\circ$ rotasi mengiri sangat kecil antara $2^\circ - 0^\circ$ posisi lintang purba $-3.5^\circ LS$ kedudukannya sudah sama dengan posisi sekarang.
- Rekonstruksi serta perhitungan lintang purba terhadap formasi batuan di Sulawesi Selatan sejak Trias bersumber dari selatan Ekuator.

Sejak umur tersebut, tektonik aktif bergerak ke arah utara, oleh dorongan Benua Australia disertai rotasi mengiri (*anticlockwise*) mencapai 92° oleh dorongan sesar Sorong ke arah barat dengan kecepatan 9 cm/thn .

- Perhitungan lintang purba posisi Kalimantan umur Trias berasal dari Benua Asia, dan terbentuk jauh di utara ekuator mendekati inklinasi $10^\circ LS$, sedangkan pada Trias Akhir terdorong menjauhi Benua Asia pada -18° hingga melampaui garis ekuator di selatan. Kemudian bergerak ke utara sejak umur Jura - Holosen pada posisi 0° garis ekuator. Kalimantan sejak Pratersier tidak menunjukkan pergerakan yang berarti kecuali sama-sama rotasi mengiri terus berlanjut hingga sekarang dengan lengan Sulawesi Selatan.
- Tektonik terkuat di Sulawesi Selatan terindikasi dari rotasi Miosen-Pliosen sebesar $72-76^\circ$, kemudian melemah pada Plistosen sebesar 3° , dan pada saat sekarang yaitu zaman Kuartar perputaran belum tampak.
- Kalimantan dan Sulawesi mungkin pernah berdekatan yang terindikasi dari pergerakan Kalimantan ke arah selatan sejak zaman Trias Akhir $-17^\circ LS$. Sulawesi pada umur yang sama bergerak ke arah utara pada posisi lintang -

16.1°LS, kemudian ke dua pulau tersebut sama-sama bergerak ke arah utara dengan rotasi Kalimantan mengiri sebesar 50° dan Sulawesi Selatan 92°.

- Pemekaran (*rifting*) di Selat Makasar pada diagram Resen yang memisahkan Kalimantan dengan Sulawesi Selatan pada penelitian ini tidak tampak. Rotasi yang terbentuk di Sulawesi Selatan dengan konsep pemekaran yang terjadi seharusnya menganan bukan sebaliknya seperti gerakan sekarang. Hasil analisis GPS tentang pergerakan rotasi yang terbentuk dan sedang berlangsung saat ini adalah relatif mengiri.

- Rotasi menganan sebesar 62° yang terbentuk di Kompleks Bantimala berumur Kapur Akhir menandakan terjadinya tektonik kuat di daerah tersebut hingga mensesarkan batuan yang berumur Kapur ke atas lapisan Tersier di daerah ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Kepala Pusat Survei Geologi, dan semua pihak yang telah membantu hingga karya tulis ini dipublikasikan. Penulis menyadari atas kekurangannya, dan akan terus berusaha untuk memperbaikinya dikemudian hari.

ACUAN

- Walpersdorf, Andrea, Vigny, Christophe, 1997. GPS Observation of The Tectonic Activity in The Triple Junction Area in Indonesia. *Laboratoire de Geologie Ecole Normale Superieure 24 rue Lhomond 75231 Paris, France.*
- Amante, C., Eakins, 2009. *ETOPO 1 Arc-Minute Global Relief Model*,. <http://www.Nge.noaa.gov/mgg/bathymetry>.
- Charles, Audley, M.G., 1974. Sulawesi Mesozoic Cenozoic Orogenic Belts, *Data for Orogenic Studies Geci. Soc London, Spec. Pub. No. 4: 365-378*
- Rangin, Claude, Laurent Jolived., Manuel., Pubellier., 1990. A Simple Model for the Tectonic Evolution of Southeast Asia and Indonesia Region for the Past 43 m.y. *Bull, Soc, Geol, Frame.* 1990. (8). I. VI. (6): 889-905.
- Haile, NS., 1978. Reconnaissance Paleomagnetic Results From Sulawesi, Indonesia and Their Bearing Paleogeographic Reconstruction. *Tectonophysics* 45: 77-85.
- Katili, J.A., 1978. Past and Present Tectonic Position of Sulawesi, Indonesia. *Tectonophysics* 45: 289-322.
- Mubroto, B., 1988. Paleomagnetic study of the east and southwest arms of Sulawesi, Thesis PhD, tidak dipublikasikan, Universitas Oxford, Inggris, 253 halaman.
- Arsana, I Mad, Andi., 2006. The Australia Submission of the Extended Continental Shelf (ECS) *A Study on its Impact to the Indonesia - Australia Maritime Boundaries, and Indonesian Potential Claim over ECS.*
- Muller, R.D., Roest, J., Royel, I., (1998). Digital Isochrons of the Ocean Floor. <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/html>.
- Sukanto, Rab., 1982. *Peta Geologi Lembar Pangkajene dan Watampone Bagian Barat, Sulawesi*, Skala 1 : 250.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Sasajima, S., 1979. Paleomagnetic with fission-track datings on the western arc of Sulawesi, Indonesia. *Journal of Geophysic. Res.*, 88: 9407-9418.
- Sunata, W. dan Wahyono, H., 1987. Paleomagnetism along Transect VII (Jawa Kalimantan Transect) Preliminary Report of the Jawa-Kalimantan Transect. *Geological Research and Development Centre, Chapter VI, 73-88.*

- Sunata, W., Wahyono, H., 1995. Data Magnet Purba Teruji Untuk Formasi Tanjung, Daerah Batulicin, Kalimantan Selatan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung. *Publikasi Khusus* No.19: 242-252.
- Panjaitan, S., Mubroto, B., 1993. Indikasi Tektonik Berdasarkan Data Paleomagnetik di Daerah Soppeng Sulawesi Selatan, *Proceedings 22nd Annual Convension Indonesian Association of Geologists*, 1 : 83 – 91.
- Panjaitan, S., dan Hutubessy, S., 1995. Penelitian Magnetostratigrafi di daerah Sulawesi Selatan Laporan, *Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi*, Bandung.
- Smit., Sandwele., Last Update., 2003. Globe 30" *Topografi Overlaid Mesured and Estimated Bathymetry*. <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/>.html.

J
G
S
M