

NEOTEKTONIK SEGMENT MOA BERDASARKAN DATA PALEOMAGNETIK DAN IMPLIKASI GERAK MIKROBLOK PADA ZONA SESAR PALU KORO

Muhammad Rusli Muin^{1,3}, Sutarto¹, Carolus Prasetyadi¹, Suharsono²

¹Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi-UPNV Yogyakarta

²Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi-UPNV Yogyakarta

³Prodi Teknik Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam-Universitas Tadulako Palu
e-mail : 311190004@student.upnyk.ac.id

Abstrak. Analisis paleomagnetik pada Segmen Moa Zona Sesar Palu-Koro (ZSPK), dilakukan dengan menganalisis 17 specimen batuan granitoid. Hasil yang diperoleh menunjukkan arah NRM yang memiliki deklinasi (D_m) $205,9^\circ$ dan inklinasi (I_m) $-76,3^\circ$, dengan posisi kutub purba pada $56,0^\circ$ LS dan $151,6^\circ$ BT. Dibandingkan dengan kutub purba Lempeng Australia pada 3,35 juta tahun lalu, diperoleh rotasi (clockwise/CW) sebesar $\pm 176^\circ$ dan perpindahan spasial sekitar 1650 km ke arah barat laut, dengan estimasi perpindahan sebesar $\pm 0,49$ mm/tahun. Rotasi ekstrem dan translasi lambat ini menunjukkan bahwa Segmen Moa merupakan blok mikro tektonik yang mengalami deformasi signifikan sejak akhir Pliosen. Interpretasi ini konsisten dengan model fragmentasi lempeng oleh Hall (2002, 2012) serta data paleomagnetik regional (Ali & Hall, 1995; Mubroto, 1994, 1996), yang menunjukkan rotasi dan migrasi blok di Sulawesi akibat tumbukan *oblique* dan *rollback slab*. Hasil ini mengindikasikan bahwa Segmen Moa berasosiasi kuat dengan dinamika Lempeng Australia dan berperan aktif dalam evolusi tektonik kompleks di wilayah Indonesia bagian timur.

Kata Kunci: CW, Paleomagnetik, Rotasi, ZSPK

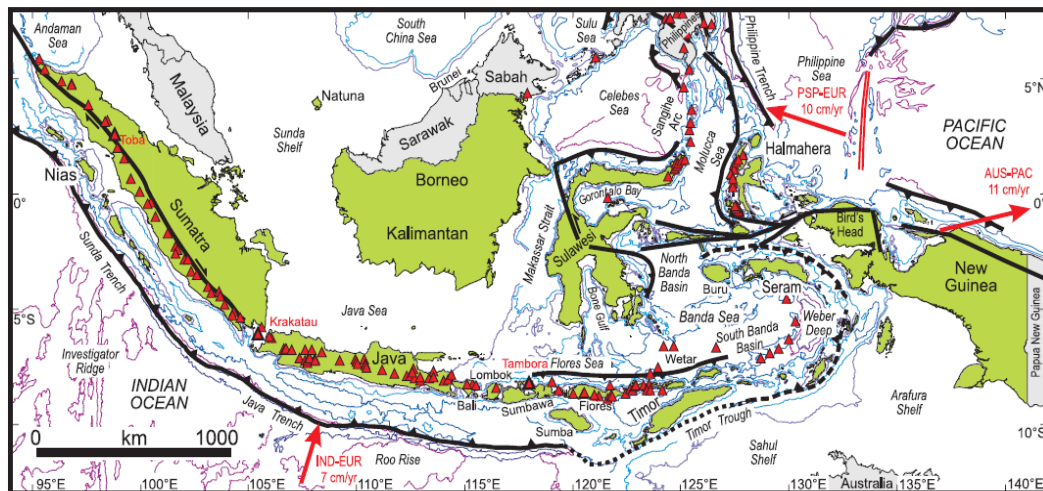
Abstract. Paleomagnetic analysis of 17 specimen granitoid rocks from the Moa Segment of the Palu-Koro Fault Zone (PKFZ) reveals a natural remanent magnetization (NRM) direction with a declination (D_m) of 205.9° and an inclination (I_m) of -76.3° , corresponding to a paleopole position at 56.0° S and 151.6° E. Compared to the Australian Plate's reference pole at 3.35 Ma, this indicates a clockwise/CW rotation is $\pm 176^\circ$ and a spatial displacement of around 1650 km toward the NW, at an average of ± 0.49 mm/year. This extreme rotation and slow translation suggest that the Moa Segment represents a tectonic microblock that has undergone significant deformation since the late Pliocene. This interpretation aligns with the plate fragmentation model proposed by Hall (2002, 2012) and is supported by regional paleomagnetic data (Ali & Hall, 2007; Mubroto, 1999, 2003), which document block rotations and migrations in Sulawesi driven by oblique collision and slab rollback processes. The results strongly suggest that the Moa Segment is closely associated with Australian Plate dynamics and plays an active role in the complex tectonic evolution of eastern Indonesia.

Keywords: Clockwise, Paleomagnetism, Rotation, PKFZ

PENDAHULUAN

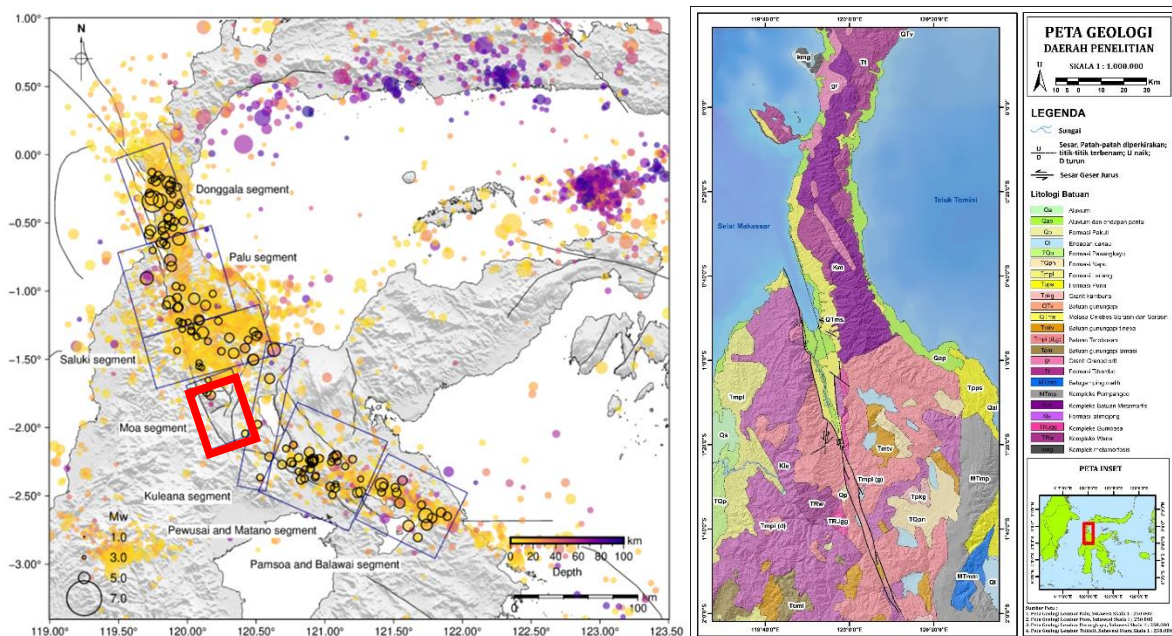
Penyelidikan geologi dan geofisika di wilayah Kepulauan Indonesia memberikan kontribusi penting dalam pengembangan teori tektonik modern, mengingat wilayah ini merupakan lokasi awal dikenalnya karakteristik fundamental dari sistem busur kepulauan (Hamilton, 1979; Hall, 2002). Salah satu pendekatan utama dalam studi tektonik tersebut adalah rekonstruksi tektonik, yang di Indonesia memiliki nilai aplikatif tinggi. Rekonstruksi ini berperan penting dalam memahami evolusi cekungan sedimen (Satyana & Purwaningsih, 2003), riwayat perkembangan busur vulkanik (Sopaheluwakan et al., 2004), serta berbagai proses deformasi tektonik yang mengontrol persebaran dan potensi sistem sumber daya alam (Hall & Nichols, 2002). Dari sisi ilmiah, pendekatan ini juga memungkinkan pengungkapan dinamika lempeng dan interaksi mikroblok secara lebih mendalam, termasuk proses-proses tektonik yang langka dan khas seperti rotasi blok dan translasi lateral (Ali & Halls, 1996; Mubroto et al., 1996).

Zona Sesar Palu-Koro (ZSPK) merupakan salah satu struktur tektonik aktif utama di Indonesia yang berperan penting dalam akomodasi pergerakan relatif antara Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Laut Filipina (Gambar 1).



Gambar 1. Kondisi geologi Indonesia dan sekitarnya memperlihatkan posisi pulau Sulawesi dan Zona Sesar Palu Koro diantara himpitan 3 lempeng besar (Hall and Wilson, (2000))

Segmen Moa, yang terletak di bagian selatan ZSPK, berfungsi sebagai zona transisional antara sistem sesar mendatar di bagian tengah dan zona patahan kompleks di bagian tenggara. Menurut Bellier et al. (2006), segmen ini mengalami deformasi kompleks akibat pengaruh interaksi gaya dari arah utara (subduksi Sulawesi Utara) dan gaya geser dari arah barat (pergerakan Lempeng Sunda terhadap Blok Sula dan Blok Banggai). Mudrik Daryono dan Kusumawaty (2018) menambahkan bahwa segmen Moa menunjukkan anomali neotektonik berupa pelipatan dan rotasi blok kecil yang belum banyak diteliti secara mendetail. Beberapa ahli geologi seperti Hall (2002), Soquet et al. (1997), dan Simandjuntak (1993) juga mencatat bahwa wilayah ini merupakan zona kunci dalam memahami pembentukan arsitektur mikroblok di Sulawesi Tengah. Posisi segmen Moa dalam Zona Sesar Palu Koro dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



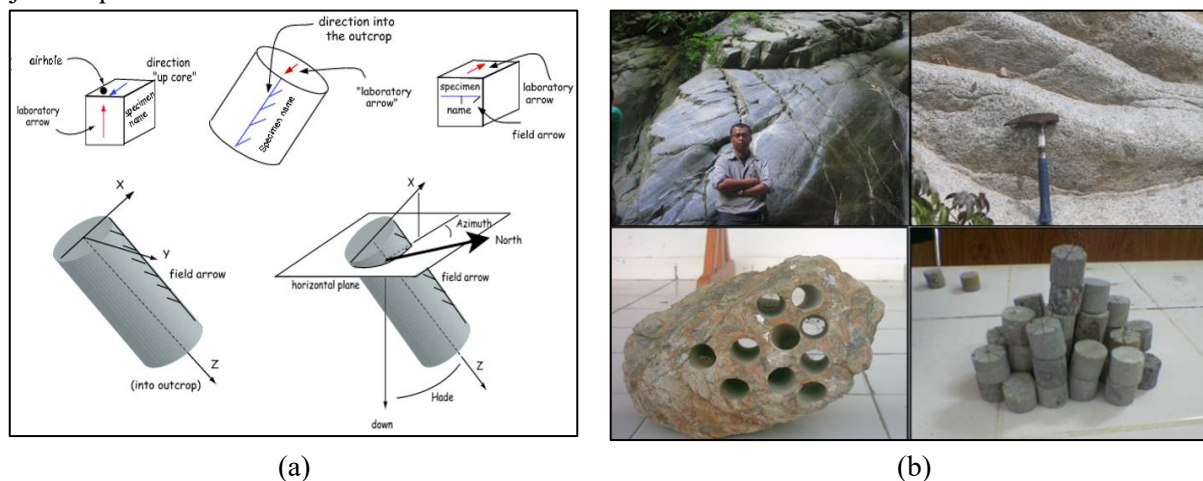
Gambar 2. (a) Posisi segmen Moa pada Zona Sesar Palu Koro, kotak merah merupakan lokasi sampel, (b) Peta geologi ZSPK (Kusumawati et al, 2024, Sukanto, 1973)

Riset paleomagnetik pada Segmen Moa yang merupakan bagian dari sistem Zona Sesar Palu-Koro masih sangat terbatas, baik dalam konteks deteksi rotasi blok mikro maupun dalam upaya rekonstruksi lintang dan kutub purba. Studi-studi paleomagnetik sebelumnya di Sulawesi, seperti yang dilakukan oleh Mubroto et al.

(1996), Sopaheluwakan et al. (2004), dan Hall (2002), cenderung terfokus pada wilayah Sulawesi Barat dan Tenggara, atau menyajikan pendekatan regional tanpa pemisahan segmentasi struktur sesar secara rinci. Hal ini menyebabkan Segmen Moa belum banyak dieksplorasi secara paleomagnetik sebagai unit tektonik tersendiri yang memiliki potensi pergerakan blok dengan rotasi yang unik. Padahal, secara geologis, segmen ini menunjukkan indikasi deformasi aktif dan rekaman kompleks interaksi lempeng sejak akhir Neogen (Bellier et al., 2006; Daryono & Kusumawaty, 2018). Dengan tidak adanya data paleomagnetik yang langsung diperoleh dari Segmen Moa, maka asumsi-asumsi mengenai rotasi blok dan arah vektor pergerakan di segmen ini masih bersifat prediktif, yang mengandalkan interpolasi dari segmen lain yang belum tentu mewakili dinamika lokal secara akurat. Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk mengisi gap data paleomagnetik dengan menganalisis sifat kemagnetan purba yang terekam dalam batuan granitoid berumur neogen yang terintrusi di Segmen Moa. Dalam kajian ini, pendekatan paleomagnetik diterapkan menggunakan sampel batuan granitoid yang tersebar luas di kawasan Zona Sesar Palu Koro. Granitoid dipilih karena merupakan batuan beku dalam yang cenderung stabil secara mineral magnetik (magnetit, ilmenit), serta memiliki umur geologi yang sesuai dengan periode deformasi (3,35 juta tahun, berdasarkan data radiometri dan referensi Kavalieris et al., 1992). Granitoid di segmen ini merupakan hasil intrusi magmatik selama fase tektonik Neogen, dan cenderung tidak mengalami metamorfisme tingkat tinggi sehingga masih merekam sinyal magnetik purba dengan baik (Butler, 1992). Tulisan ini diharapkan dapat merekam arah magnetisasi purba secara kuantitatif, yang memungkinkan dilakukannya rekonstruksi arah kutub purba, estimasi lintang purba, hingga perhitungan rotasi blok terhadap lempeng-lempeng utama di sekitarnya seperti Australia, Eurasia, dan Asia Tenggara.

METODOLOGI

Pada penelitian ini, sampel berupa granitoid diambil dari intrusi di bagian selatan ZSPK. Setelah melakukan riset pendahuluan yang meliputi riset literatur dan konsultasi dengan para peneliti yang pernah bekerja di daerah ini, maka sampel granitoid diambil di sekitar segmen Moa pada lintang -1,923 LS dan 120,268 BT. yang menghasilkan 17 specimen. Sampel berupa *core* (inti) hasil pengeboran *in situ* berdiameter 2,54 cm dan berupa blok (berukuran kurang lebih $10 \times 10 \times 10$ cm) yang terorientasi. Pengeboran di lapangan akan dilakukan secara selektif menggunakan bor tangan (*hand drill*) khusus untuk pengambilan sampel paleomagnetik yang dibuat oleh Magnetic Measurement Ltd. Di laboratorium sumber daya bumi Universitas Tadulako, sampel berupa *core* akan dipotong setebal 2,2 cm, sementara sampel berupa blok sampel akan dibor sehingga berbentuk silinder berdiameter 2,54 cm dan kemudian dipotong setebal 2,2 cm. Bagian yang berada di dekat permukaan atau yang telah mengalami pelapukan tidak digunakan. Tahapan preparasi sampel dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Tahapan (a) preparasi dan (b) pengambilan sampel paleomagnetik

Seluruh sampel tersebut kemudian akan diukur arah dan intensitas magnetisasinya dengan Minispin magnetometer. Selanjutnya sampel-sampel tersebut akan diuji stabilitas magnetisasinya dengan proses demagnetisasi secara bertahap. Pada proses ini sampel akan diberi medan magnetik bolak-balik yang intensitasnya meluruh dari satu nilai puncak tertentu (*peak field*). Peralatan demagnetisasi yang digunakan adalah Molspin alternating field demagnetizer yang mempunyai intensitas puncak maksimum sebesar 100 mT. Ketelitian magnetisasi dalam kisaran $\pm 5\%$ yang memungkinkan deteksi intensitas magnetisasi hingga sekitar 0,001 A/m (Bartintong, 2014). Setelah selesai satu tahap demagnetisasi, arah dan intensitas magnetisasi yang tersisa akan kembali diukur. Proses ini akan diulang sampai intensitas yang tersisa tinggal sekitar 5% dari intensitas semula. Analisis data hasil AF (*Alternating Field*) demagnetisasi dilakukan dengan menggunakan statistik Fisher. Statistik Fisher merupakan fungsi distribusi probabilitas yang dipakai untuk menentukan arah paleomagnetik seperti rata-rata deklinasi (D_m), inklinasi (I_m), panjang resultan vektor (R), jumlah demagnetisasi (N), faktor presisi (k) dan sudut kerucut kepercayaan 95% (α_{95}). Jika segmen batuan yang terletak pada lintang dan bujur site $S(\lambda_s \phi_s)$, maka berdasarkan teori AGD dan APWP posisi kutub paleomagnetik $P(\lambda_p \phi_p)$, dapat dihitung menggunakan Persamaan 1 (Bijaksana, 2002). *Axial Geomagnetic Dipole* (AGD) adalah model medan magnet bumi yang dianggap bersifat seperti dipol dan berada di pusat bumi. *Apparent Polar Wander Path* (APWP) lintasan pergerakan kutub magnetik purba semu blok/segmen/lempeng dalam waktu geologis tertentu (Butler, 1992).

$$D_m = \tan^{-1} \left(\frac{m}{l} \right) \text{ dan } I_m = \sin^{-1}(n) \quad (1)$$

Dimana D_m adalah deklinasi rata-rata, dan I_m adalah inklinasi rata-rata. Sehingga besarnya lintang kutub paleomagnetik (λ_p) adalah:

$$\lambda_p = \sin^{-1} [\cos p \sin \lambda_s + \sin p \cos \lambda_s \cos D_m] \quad (2)$$

Dimana p jarak anguler yang bernilai ($0^\circ \leq p \leq 180^\circ$), sehingga besarnya lintang kutub paleomagnetik (ϕ_p) adalah:

$$\phi_p = \phi_s + \left[\sin^{-1} \left\{ \sin p \sin D_m / \cos \lambda_p \right\} \right] \quad (3)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran NRM dan AF Demagnetization sampel batuan granitodi segmen Moa pada Zona Sesar Palu Koro dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Hasil pengukuran AF Demagnetisasi

No	Deklinasi (°)	Inklinasi (°)	Parameter Fisher		
			l	m	n
1	177,2	-5,2	-0,9947	0,0486	-0,0906
2	177,3	-5,5	-0,9943	0,0469	-0,0958
3	180,5	-5,6	-0,9952	-0,0087	-0,0976
4	178,1	-6,3	-0,9934	0,0330	-0,1097
5	178,8	-5,9	-0,9945	0,0208	-0,1028
6	176,9	-5,3	-0,9943	0,0538	-0,0924
7	174,4	-5,9	-0,9900	0,0971	-0,1028
8	175,8	-3,4	-0,9956	0,0731	-0,0593
9	174,5	-4,6	-0,9922	0,0955	-0,0802
10	183,9	-5,4	-0,9933	-0,0677	-0,0941
11	175,2	-4,2	-0,9938	0,0835	-0,0732
12	170,5	-5,1	-0,9824	0,1644	-0,0889

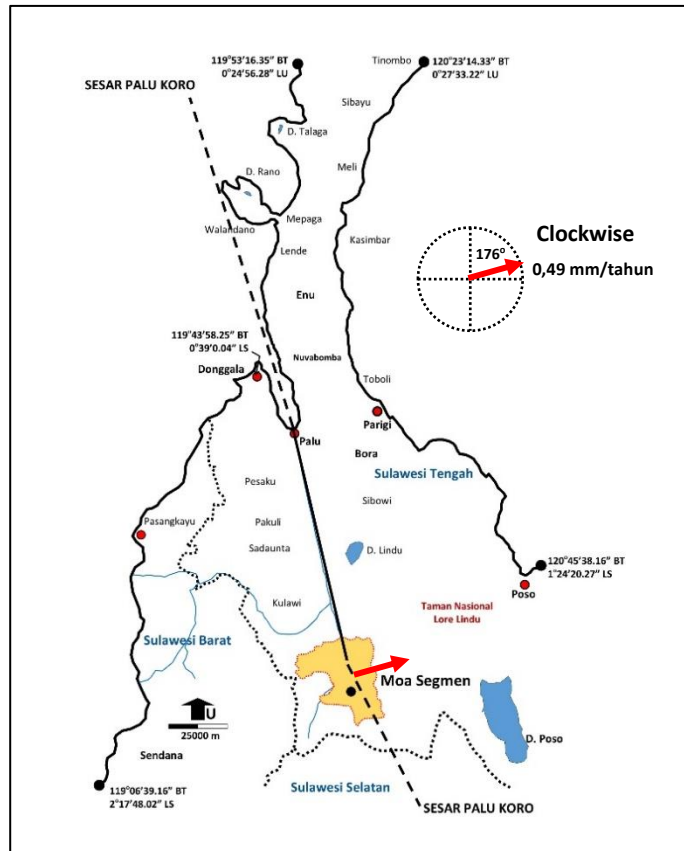
13	174,1	-5,5	-0,9901	0,1023	-0,0958
14	174	-4,4	-0,9916	0,1042	-0,0767
15	176,8	-5,3	-0,9942	0,0556	-0,0924
16	176,8	-5,6	-0,9937	0,0556	-0,0976
17	170,6	-4,4	-0,9837	0,1628	-0,0767

Dimana l, m dan n merupakan cosinus arah utara, timur dan bawah. Analisis arah remanent magnetization pada batuan granitoid dari Segmen Moa menunjukkan nilai rerata deklinasi sebesar 205,9° dan inklinasi – 76,3°, dengan nilai parameter Fisher pada Tabel 2 berikut

Tabel 2. Parameter Fisher dan karakteristik remanen magnetisasi (ChRM)

N	R	k	α_{95}	(l)	(m)	(n)
17	16,9	586,8	1,67	-16,867	1,121	-1,527
λ_s	ϕ_s	λ_p	ϕ_p	L	R	Direction
-1,92° LS	120,27° BT	56,0° LS	151,6° BT	1650 Km	176°	CW

Berdasarkan data-data tersebut, maka diperoleh posisi kutub purba $P(\lambda_p\phi_p)$, pada sekitar 56,0° LS dan 151,6° BT. Ketika dibandingkan dengan posisi kutub purba Lempeng Australia pada usia 3,35 juta tahun yang lalu (sekitar 70° LS dan 180° BT; Besse & Courtillot, 2002), maka diperoleh rotasi searah jarum jam (clockwise/ CW) sebesar $\pm 176^\circ$. Rotasi ekstrem ini menunjukkan bahwa Segmen Moa mengalami pergeseran kinematik yang sangat signifikan terhadap lempeng Australia sejak akhir Pliosen. Pola rotasi dan pergeseran segmen Moa dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini. Selain rotasi, berdasarkan vektor paleopole dan koordinat lokasi saat ini $S(\lambda_s\phi_s)$ (Lintang = -1,92°, Bujur = 120,27°), dihitung bahwa perpindahan spasial kutub purba terhadap posisi referensi kutub Australia mencerminkan perpindahan sebesar ± 1650 km ke arah barat laut. Jika perpindahan ini terjadi sejak 3,35 juta tahun lalu, maka diperoleh laju perpindahan sebesar sekitar $\pm 0,49$ mm/tahun. Kecepatan ini tergolong lambat jika dibandingkan dengan pergerakan lempeng aktif modern (yang umumnya 30–100 mm/tahun), tetapi bermakna secara geologis karena mengindikasikan akumulasi deformasi plastis dan translasi blok mikro yang berlangsung terus-menerus dalam skala waktu jutaan tahun. Besarnya rotasi dan pergeseran segmen dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Rotasi segmen Moa sebesar 176° clockwise dengan kecepatan pergeseran 0,49 mm/tahun

Interpretasi ini konsisten dengan model fragmentasi dan translasi kerak benua Australia oleh Hall (2002, 2012), yang menunjukkan bahwa bagian timur Indonesia, termasuk Sulawesi dan Laut Banda, adalah wilayah yang mengalami kompleksitas deformasi akibat rollback slab, *arc-continent collision*, dan pembentukan sistem sesar geser besar seperti Palu-Koro dan sesar Matano. Lebih lanjut, Ali dan Hall (1995) mencatat bahwa di Sulawesi dan Kepulauan Sula terdapat blok mikro yang menunjukkan rotasi CW sebesar 30° – 90° , dan bergerak keluar dari margin utara Australia sebagai hasil tumbukan oblique dan evolusi lempeng konvergen. Dalam konteks ini, Segmen Moa berpotensi menjadi bagian dari blok mikro yang terotasi dan tertranslasi, seiring aktivitas tektonik kompleks sejak Neogen hingga Kuartar.

Hasil studi ini juga selaras dengan Mubroto (1994, 1996) yang mencatat bahwa satuan batuan berumur Neogen di Sulawesi bagian tengah dan timur menunjukkan rotasi sebesar $\pm 30^\circ$ hingga $\pm 110^\circ$, tergantung pada posisi relatif terhadap zona sesar aktif. Namun, rotasi sebesar 176° yang teridentifikasi pada Segmen Moa dalam studi ini menunjukkan bahwa blok tersebut telah mengalami deformasi yang lebih intens, kemungkinan sebagai akibat dari kombinasi antara rotasi torsional, translasi lateral, dan efek akresi tektonik lokal.

Arah rotasi dan vektor pergeseran menunjukkan bahwa Segmen Moa memiliki hubungan tektonik lebih erat dengan lempeng Australia dibanding Eurasia atau Asia Tenggara. Hal ini dikuatkan oleh posisi paleopole Moa yang lebih dekat ke kutub purba Australia. Dengan demikian, hasil ini tidak hanya menunjukkan rotasi, namun juga perpindahan lateral blok dalam arah barat laut yang terjadi secara perlahan selama beberapa juta tahun terakhir. Keseluruhan hasil ini mendukung interpretasi bahwa Segmen Moa merupakan blok mikro tektonik yang mengalami rotasi ekstrem dan perpindahan lateral sejak akhir Pliosen, dan berperan aktif dalam dinamika batas lempeng konvergen di Indonesia bagian timur.

PENUTUP

Simpulan dan Saran

Berdasarkan analisis paleomagnetik pada batuan granitoid Segmen Moa, diperoleh rerata arah magnetisasi dengan deklinasi $205,9^\circ$ dan inklinasi $-76,3^\circ$, yang menghasilkan posisi kutub purba pada sekitar $56,0^\circ$ LS dan $151,6^\circ$ BT. Ketika dibandingkan dengan kutub purba Lempeng Australia pada usia 3,35 juta tahun lalu, data ini mengindikasikan bahwa Segmen Moa telah mengalami rotasi ekstrem searah jarum jam sebesar $\pm 176^\circ$, serta perpindahan lateral sejauh ± 1650 km ke arah barat laut dengan laju relatif lambat $\pm 0,49$ mm/tahun. Perubahan ini mencerminkan akumulasi deformasi jangka panjang akibat aktivitas tektonik kompleks seperti rollback slab, tumbukan busur-benua, dan kerja sistem sesar geser besar. Temuan ini memperkuat interpretasi bahwa Segmen Moa merupakan bagian dari blok mikro tektonik yang telah terlepas dari margin utara Australia, dan mengalami deformasi intens melalui proses rotasi, translasi, dan akresi sejak akhir Pliosen. Selain itu, arah rotasi dan posisi kutub purba menunjukkan afinitas tektonik yang lebih kuat dengan Lempeng Australia dibandingkan Eurasia.

Disarankan agar penelitian lanjutan dilakukan dengan sampel dan cakupan spasial yang lebih luas dan pendekatan multidisiplin untuk memperkuat interpretasi rotasi dan translasi Segmen Moa serta perannya dalam dinamika tektonik Indonesia timur.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dr. La Ode Ngkoimani, Dr. Rahim Achmad, Mauludin Kurniawan, S.Si.,M.Sc., dan kepada pimpinan FMIPA, atas berkontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini mulai pada tahap pengambilan sampel, pengukuran uji/laboratorium hingga perbaikan-perbaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, J.R. dan Hall, H. (1995), Paleomagnetic data from the Indochina Peninsula and their tectonic significance, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Vol.101, No.B8, hal. 17711–17725. <https://doi.org/10.1029/96JB00923>.
- Bartintong. (2014), *Minispin operators manual*, Molspin LTD, New Castle, England.
- Bellier, O., Sébrier, M., Beaudouin, T., Villeneuve, M. dan Putra, R. (2006), High slip rate for a low seismicity along the Palu-Koro active fault in central Sulawesi (Indonesia), *Terra Nova*, Vol.18, No.6, hal. 399–406. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2006.00697.x>.
- Besse, J. and Courtillot, V. (2002). Apparent and true polar wander and the geometry of the geomagnetic field over the last 200 Myr. *Journal Of Geophysical Research*, Vol. 107, NO. B11, 2300.
- Bijaksana, S. (2002). Analisa mineral magnetik dalam masalah lingkungan. *Jurnal Geofisika*, 1(1), 19–27.
- Bijaksana, S. (2004), Paleomagnetisme untuk geologi dan arkeologi, *Kelompok Keahlian Geofisika, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan ITB*, Bandung.
- Butler, R.F. (1992), *Paleomagnetism: Magnetic domains to geologic terranes*, Blackwell Scientific Publications, Boston.
- Daryono, M. dan Kusumawaty, D. (2018), Analisis deformasi aktif Zona Sesar Palu-Koro menggunakan data InSAR dan GPS, *Jurnal Geodinamika Indonesia*, Vol.7, No.2, hal. 123–138.
- Hall, R. Wilson, M.E.J. (2000), Neogene sutures in eastern Indonesia, *Journal of Asian Earth Sciences* 18, hal. 781–808.
- Hall, R. (2002), "Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: Computer-based reconstructions, model and animations", *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol.20, No.4, hal. 353–431. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(01\)00069-4](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(01)00069-4).
- Hall, R. dan Nichols, G.J. (2002), *Cenozoic sedimentation and tectonics in Indonesia*, SEPM Special Publication, Vol.76, hal. 5–27.
- Hamilton, W. (1979), *Tectonics of the Indonesian region*, U.S. Geological Survey Professional Paper 1078.

- Kavalieris, I., van Leeuwen, T.M. dan Wilson, M. (1992), Geological setting and styles of mineralization, North Arm of Sulawesi, Indonesia, *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, Vol.7, No.2–3, hal. 113–129. [https://doi.org/10.1016/0743-9547\(92\)90059-Q](https://doi.org/10.1016/0743-9547(92)90059-Q).
- Kusumawati, A., Rahman, T. dan Santoso, B. (2024), A new moment tensor catalogue of light to moderate earthquakes in Palu-Koro and Matano faults, Sulawesi, based on the regional network in Indonesia: Fault analysis and insight, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. (In Press).
- Mubroto, B., Briden, J.C., McClelland, E., Hall, R., (1994). Palaeomagnetism of the Balantak ophiolite Sulawesi. *Earth and Planetary Science Letters* 125, 193–209.
- Mubroto, B., Simandjuntak, T.O. dan Sopaheluwakan, J. (1996), Paleomagnetic constraints on the Neogene tectonic rotations in Sulawesi, Indonesia, dalam *Proceedings of the International Symposium on Tectonics and Geological Resources of Southeast Asia*, hal. 243–251.
- Satyana, A.H. dan Purwaningsih, E. (2003), Paleogene back-arc origin of Tertiary sedimentary basins in western Indonesia, *Indonesian Petroleum Association Proceedings*, Vol.29, hal. 107–135.
- Simandjuntak, T.O. (1993), Tectonic evolution of the eastern Indonesian collision complex, *Geological Society of Malaysia Bulletin*, Vol.33, hal. 103–114.
- Sopaheluwakan, J., Wakita, K. dan Sato, T. (2004), Neotectonic evolution of Sulawesi based on paleomagnetic results, *Island Arc*, Vol.13, No.2, hal. 120–134. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1738.2003.00414.x>.
- Soquet, A., Bellier, O. dan Sébrier, M. (1997), Structural study and neotectonic activity along the Palu-Koro fault zone in Sulawesi, Indonesia, *Geodynamic Research Letters*, Vol.23, hal. 65–72.
- Sukanto, R. A. B., (1973): Peta Geologi Tinjau Lembar Palu, Sulawesi, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Direktorat Geologi, Bandung.