

Karakteristik Deformasi Struktur Geologi Pegunungan Nipa-Nipa Daerah Punggaloba Kota Kendari Sulawesi Tenggara

Phill R. Saranga¹, Masri^{1*}, Hasria¹

¹Program Studi Teknik Geologi, Universitas Halu Oleo, Kendari

*Email korespondensi: masri@uho.ac.id

SARI

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari deformasi pada batuan yang menyusun Pegunungan Nipa-nipa. Analisis geologi struktur mencakup analisis deskriptif, analisis kinematika, dan analisis dinamika. Analisis deskriptif digunakan untuk mengidentifikasi berbagai tipe struktur geologi. Analisis kinematika dan dinamika dilakukan dengan proyeksi stereografi dan Win-Tensor untuk memperoleh arah pemendekan dan tegasan utama penyebab deformasi. Lokasi penelitian tersusun atas batupasir sisipan batulempung dan satuan serpih yang disetarakan dengan Formasi Meluhu Anggota Toronipa berumur Trias-Jura dan satuan kalkarenit yang disetarakan dengan batugamping Kuarter. Satuan geomorfologi berupa pegunungan blok sesar, pegunungan lipatan, dan karst pada pedataran. Deformasi getas dicirikan oleh kehadiran rekahan gerus dan rekahan tarik akibat sesar geser mengiri naik berarah tenggara-baratlaut. Deformasi teregang dicirikan oleh hadirnya lipatan pada batupasir bertipe *upright plunging* dengan sumbu lipatan berarah timurlaut dan lipatan *inclined horizontal* yang hadir sebagai lipatan seretan pada sesar. Penentuan tipe deformasi menggunakan metode dihedron pada Win-Tensor menunjukkan arah pemendekan maksimum dan tegasan utama berarah tenggara dengan mekanisme *pure shear*. Mekanisme ini menghasilkan sesar naik dan sumbu lipatan yang tegak lurus pada arah pemendekan. Deformasi pada pegunungan Nipa-nipa diduga adalah deformasi tua yang berlangsung pada Kala Oligosen saat Mintakat Banggai Sula Besar bertumbukan dengan Kompleks Ofiolit.

Kata kunci: Nipa-nipa, deformasi, Meluhu, dihedron, pure shear

ABSTRACT

This study aims to study the deformation of the rocks that make up the Nipa-nipa Mountains. The structural geological analysis includes descriptive, kinematics, and dynamics analysis. Descriptive analysis is used to identify various types of geological structures. Kinematics and dynamics analysis was performed using stereographic projections and Win-Tensor to obtain the direction of shortening and the principal stress orientation of deformation. The research location is composed of intercalated sandstones of claystone and shale units which are equivalent to the Meluhu Formation Toronipa Members of the Triassic-Jurassic age and calcarenite units equal to Quaternary limestones. Geomorphological units include fault-block mountains, fold mountains, and karst on the plains. Brittle deformation is characterized by the presence of shear fractures and tensile fractures due to the thrust sinistral fault in the southeast-northwest direction. Ductile deformation is characterized by folds in the sandstone with an upright plunging type with the fold axis trending northeast and inclined horizontal folds present as drag folds on the fault. Determination of the type of deformation using the dihedron method on Win-Tensor shows the direction of maximum shortening, and the principal stress is southeast with a pure shear mechanism. This mechanism results in a thrust fault and a fold axis perpendicular to the shortening

direction. Deformation in the Nipa-nipa mountains is thought to be an old deformation that occurred during the Oligocene when the Sula Spur collided with the Ophiolite Complex.

Keywords: *Nipa-nipa, deformation, Meluhu, dihedral, pure shear*

1 Pendahuluan

Wilayah Indonesia dibentuk oleh tiga lempeng bumi yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Benua Australia dan Lempeng Pasifik. Lempeng Eurasia merupakan lempeng yang relatif diam dan terletak di sebelah barat Indonesia. Di bagian timur Indonesia terdapat Lempeng Benua Australia yang bergerak ke arah utara dengan kecepatan 7-8 cm/tahun, sedangkan bagian utara Indonesia terdapat lempeng Samudera Pasifik yang bergerak ke arah barat dengan kecepatan 8-10 cm/tahun. Sulawesi dan sekitarnya merupakan wilayah pertemuan ketiga lempeng tersebut ([Surono, 2013](#)). Pulau Sulawesi terbentuk oleh berbagai mintakat yang bertumbukan dengan intens sejak Kapur. Tumbukan ini menghasilkan banyak struktur geologi regional, khususnya sesar-sesar geser mengiri pada lengan tenggara Sulawesi. Aktivitas seismik yang tercatat disebabkan oleh sesar geser regional tersebut.

Pegunungan Nipa-nipa merupakan salah satu pegunungan yang terletak di Utara Kota Kendari. Berdasarkan data [BMKG \(2019\)](#) dijumpai episenter gempabumi di sekitar Pegunungan Nipa-nipa. Adanya keterkaitan antara pusat gempa dan struktur geologi mejadikan penting untuk mengidentifikasi tipe deformasi struktur geologi pada daerah penelitian, khususnya keterdapatan jalur sesar aktif. [Tim Pusat Studi Gempa Nasional \(2017\)](#) menyebutkan pada daerah lengan tenggara Sulawesi, dijumpai keterdapatan Sesar Lawanopo sebagai sesar aktif yang berada di bagian utara daerah penelitian.

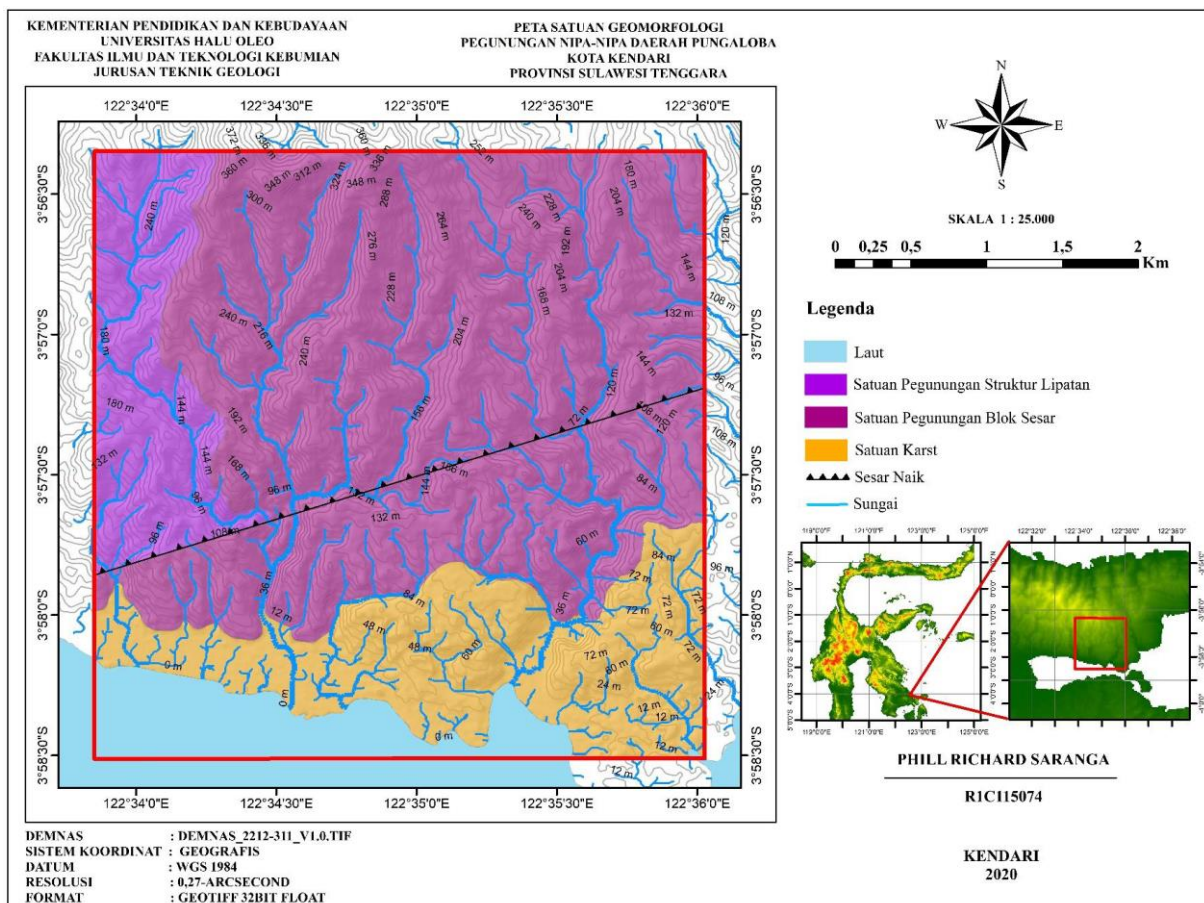
Studi pendahuluan dengan menggunakan analisis kinematika sesar menjadi tahapan awal dalam studi sesar aktif ([Natawidjaja, 2021](#)). Beberapa studi awal telah mengidentifikasi segmen Sesar Lawanopo dengan menggunakan data geofisika juga telah dilakukan ([Natawidjaja dan Daryono, 2015](#); [Triani dkk., 2021](#)). [Dardji dkk. \(1994\)](#) juga menggunakan analisis kinematika dalam mengidentifikasi segmen Sesar Cimandiri, sedangkan [Nurfritriani dkk. \(2014\)](#) mengidentifikasi sesar aktif di wilayah Gorontalo dengan menggunakan metode dihedron. Studi morfotektonik pada daerah pegunungan Nipa-nipa menggunakan parameter DAS menunjukkan keterdapatan zona tektonik aktif yang dicirikan dengan berkembangnya proses endogen yang dicirikan dengan hadirnya sesar dan intensnya rekahan pada batupasir ([Zainuddin dkk., 2021](#)).

Untuk itu, diperlukan penelitian lanjutan yang berfokus pada karakteristik deformasi pada unsur struktur geologi Pegunungan Nipa-nipa. karakteristik deformasi ditentukan melalui analisis kinematika. Luaran analisis ini adalah orientasi arah pemendekan maksimum, diikuti arah tegasan utama maksimum penyebab deformasi. Penelitian ini juga mencoba mengidentifikasi berbagai tipe struktur geologi yang berasal dari mekanisme deformasi yang berbeda.

2 Geologi

Berdasarkan morfologi regional, daerah penelitian merupakan daerah perbukitan tinggi dengan elevasi hingga 360 mdpl dengan kemiringan lereng terjal hingga 50°. Hadirnya

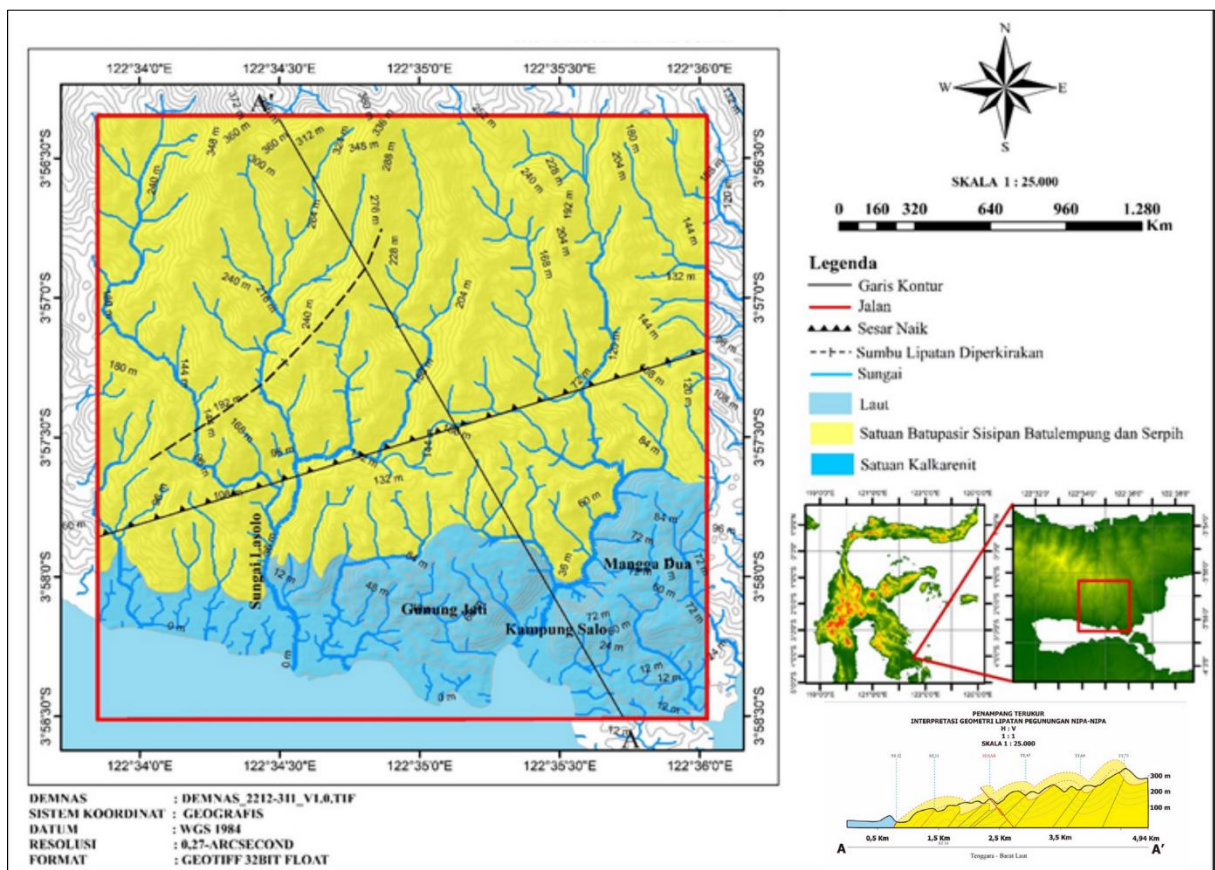
perbukitan yang memanjang relatif utara-selatan juga turut menghasilkan pola aliran sungai trellis dengan anak sungai yang bermuara pada Teluk Kendari. Pada daerah penelitian, satuan geomorfologi dibagi menjadi satuan pegunungan lipatan, satuan pegunungan blok Sesar, dan satuan pedataran karst (**Gambar 1**). Satuan pegunungan lipatan menempati bagian barat laut dengan luas $\pm 12,5\%$ dari total daerah penelitian. Satuan ini didominasi oleh batupasir klastik dengan kemiringan lapisan batuan yang miring hingga tegak. Pegunungan blok sesar dijumpai dengan luas $\pm 62,5\%$ dari total daerah penelitian. Satuan ini dicirikan dengan tingginya tingkat pelapukan. Vegetasi yang lebat dan tebalnya tanah penutup memberi kesulitan untuk menemukan singkapan batuan. Satuan karst menempati $\pm 18,75\%$ dari total luas lokasi penelitian, satuan ini menempati bagian pedataran serta perbukitan di bagian selatan yang umumnya digunakan sebagai lahan perkebunan dan pemukiman.



Gambar 1 Penyebaran satuan geomorfologi pada daerah penelitian

Batuan penyusun daerah penelitian berupa batuan sedimen klastik dan batuan karbonat. Satuan batuan dapat dibagi menjadi satuan batupasir sisipan batulempung-serpih dan satuan kalkarenit (**Gambar 2**). Satuan batupasir sisipan batulempung-serpih dijumpai pada daerah perbukitan dengan kondisi batuan segar hingga lapuk. Batupasir sedang berwarna merah kecokelatan didominasi oleh fragmen kuarsa dan litik sekis yang merupakan penciri batupasir

Formasi Meluhu Anggota Toronipa, sedangkan batulempung dan serpih hadir sebagai sisipan berwarna abu-abu gelap kehitaman (**Gambar 3**). Satuan ini terdeformasi kuat dicirikan dengan hadirnya rekahan, sesar, dan di beberapa stasiun, dijumpai bidang perlapisan yang membentuk lipatan. Satuan kalkarenit menempati bagian tenggara daerah penelitian. Batugamping ini tersusun atas fragmen koral berstruktur massif dan tidak menunjukkan perlapisan. Batuan ini memiliki tingkat pelapukan sedang hingga tinggi.

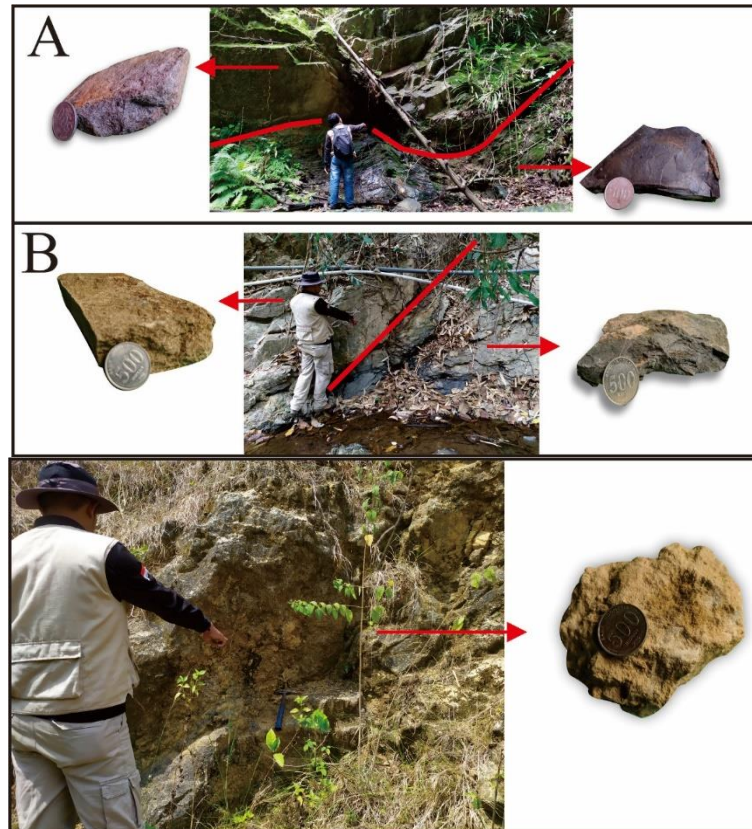


Gambar 2 Peta geologi daerah Pegunungan Nipa-nipa

3 Metode Penelitian

Metode penelitian dibagi menjadi tiga tahap yakni : (1) tahap persiapan, (2) tahap pengambilan data lapangan, (3) tahapan analisis data. Tahapan pengambilan data lapangan mencakup pemetaan geologi lapangan (aspek geomorfologi, petrologi-stratigrafi, dan struktur geologi). Penentuan satuan geomorfologi menggunakan klasifikasi genetis [Brahmantyo dan Bando \(2006\)](#). Identifikasi dan pemerian litologi menggunakan deskripsi megaskopik. Analisis geometri dan deskriptif unsur struktur geologi berdasarkan tahapan deskripsi oleh [McClay \(1991\)](#) dengan inventarisasi pengukuran rekahan dilakukan dengan *circle sampling* ([Davis dkk., 2012](#)). Data yang dianalisis adalah unsur struktur geologi pada analisis geometri (orientasi, offset, isian, dan tipe) rekahan dilanjutkan dengan analisis kinematika menggunakan stereonet ([Lisle dan Leyshon, 2004](#)). Proyeksi seterografi dapat menunjukkan arah tegasan utama,

kedudukan sesar pada struktur penyerta, dan geometri sumbu dan bidang sumbu lipatan. Analisis dihedron dengan Win-Tensor digunakan pada data sesar agar diperoleh orientasi pemendekan maksimum dan tipe deformasi (Delvaux dan Sperner, 2003). Pada tahapan akhir, dilakukan pengelompokan tipe deformasi dan penentuan model deformasi.

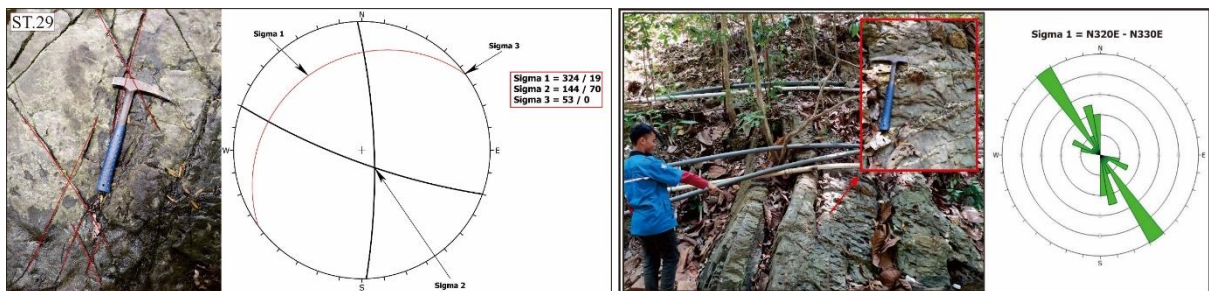


Gambar 3 A Kontak batupasir dan batulempung, B Kontak batupasir dan serpih

4 Hasil dan Analisis

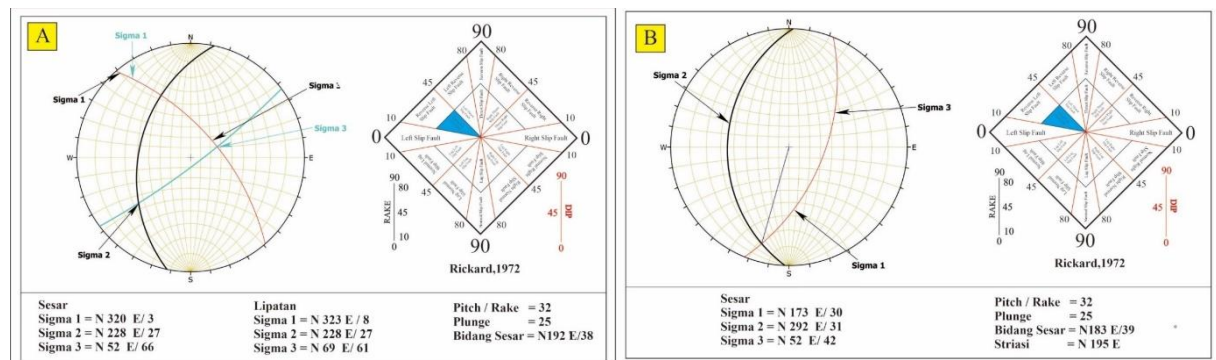
4.1 Tipe Struktur Geologi

Deformasi *brittle* (getas) merupakan perubahan bentuk secara permanen setelah tegasan yang bekerja melampaui batas elastisitas batuan (Pluijm dan Marshak, 2004). Deformasi getas yang dijumpai berupa rekahan gerus, kekar tarik, dan bidang sesar. Deformasi getas menyebabkan terjadinya perubahan bentuk, volume, dan pergeseran pada tubuh batuan. Perubahan yang terjadi ditunjukkan dengan rekahan yang membagi tubuh batuan yang bergeser (Gambar 4). Hasil analisis menunjukkan rekahan gerus disebabkan oleh tegasan utama terbesar (σ_1) berarah relatif tenggara-baratlaut dengan besar kemiringan 19° . Kekar tarik juga dijumpai pada ST 43 yang memotong batupasir sedang. Kekar tarik memiliki persistensi rendah dan setempatan telah terisi kuarsa dengan aperture hingga 2 cm.



Gambar 4 Contoh rekahan gerus dan kekar tarik pada ST.29 dan ST43 beserta penentuan tegasan utama penyebab rekahan pada stereonet

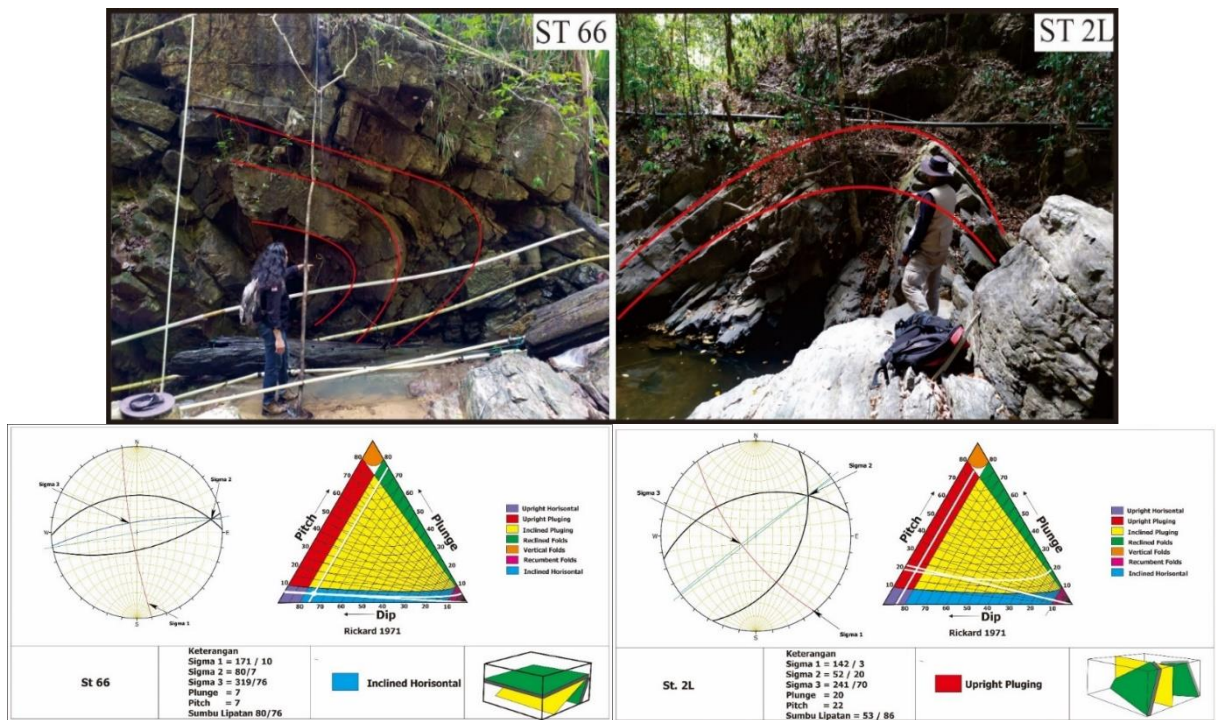
Bidang sesar juga dijumpai pada ST 63 dan ST 41 pada batupasir sisipan serpih di area perbukitan. Data sesar yang diperoleh berupa bidang sesar, gores garis, dan offset sesar. Analisis kinematika menunjukkan geometri sesar geser mengiri naik dengan *pitch* sebesar 32° menggunakan Klasifikasi Rickard (1972). *Hangingwall* sesar tersebut bergerak *oblique* (miring) ke arah atas dan bergeser relatif kiri arah pengamat terhadap *footwall* (Gambar 5).



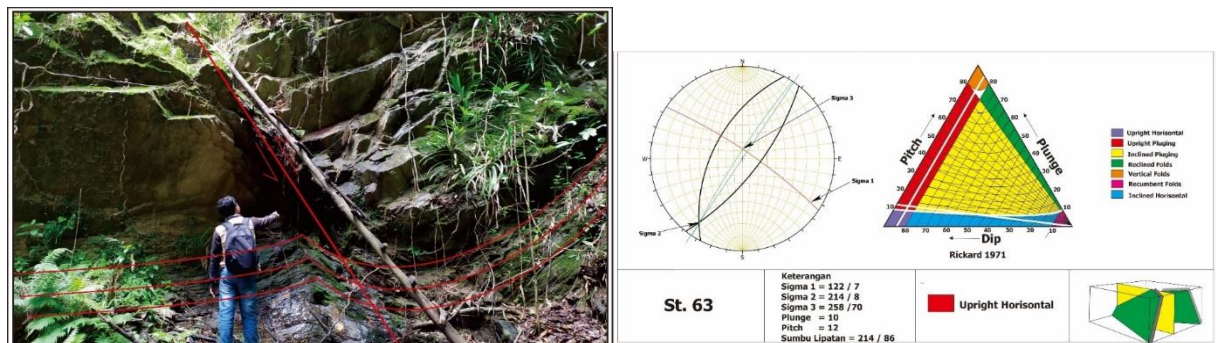
Gambar 5 Pengolahan stereografi sesar A sesar pada ST 63 dan B sesar pada ST 41 dengan arah tegasan utama berarah tenggara

Deformasi *ductile* (teregang) adalah perubahan permanen yang terjadi pada batuan tanpa dicirikan dengan adanya rekahan atau pergeseran pada bidang rekahan saat fase plastis tercapai (Pluijm dan Marshak, 2004). Deformasi teregang yang dijumpai berupa perlipatan pada satuan batupasir. Tipe lipatan diidentifikasi berdasarkan analisis kedudukan sayat lipatan. Parameter yang ditentukan adalah kedudukan garis sumbu lipatan dan bidang sumbu lipatan (Rickard, 1971). Lipatan yang dijumpai berupa *upright plunging* (lipatan menonjang) hingga *inclined horizontal* (lipatan rebah) dengan tegasan penyebab lipatan berarah tenggara (Gambar 6).

Lipatan juga dijumpai pada ST.63 yang merupakan struktur penyerta lipatan seretan pada sesar naik. Lipatan yang hadir merupakan lipatan menonjang yang terbentuk akibat perbedaan kompatibilitas batulempung dibanding batupasir saat tersesarkan. Struktur ini menunjukkan deformasi terjadi pada fase awal pembentukan batuan. Hasil stereografi juga menunjukkan tegasan penyebab lipatan seretan juga searah dengan tegasan penyebab sesar berarah tenggara (Gambar 7).



Gambar 6 Keterdapatan lipatan menunjam dan lipatan rebah pada ST 66 dan ST2L

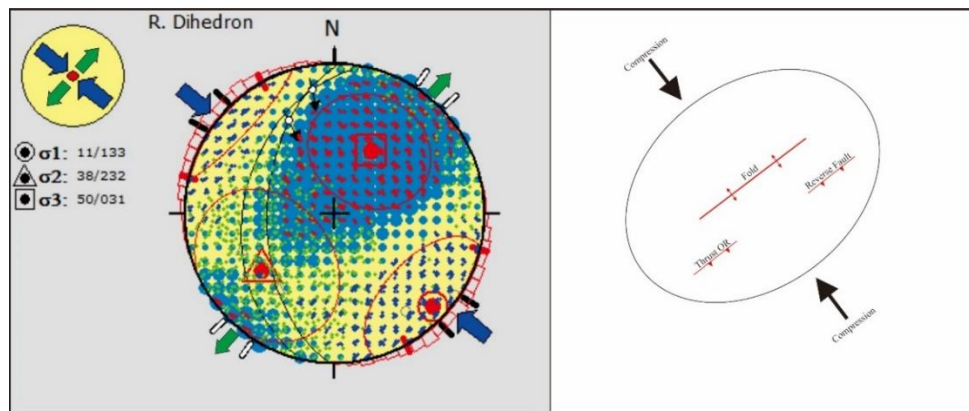


Gambar 7 Keterdapatan lipatan seretan pada ST 63 dan hasil analisis stereografi lipatan

4.2 Mekanisme Deformasi Struktur Geologi

Selain analisis kinematika dengan proyeksi stereografi, analisis struktur geologi lebih lanjut dapat digunakan dengan metode optimasi dihedron. Metode ini pada umumnya adalah pemisahan zona kompresi dan zona *tensile* (tarikan) pada suatu struktur sesar (Delvaux dan Sperner, 2003). Pemodelan deformasi ini mengasumsikan tegasan yang bekerja dapat dibagi menjadi komponen tarik (*extension*) dan komponen tekanan (*compression*) berdasarkan tegasan utama vertical (Sv) dan tegasan utama horisontal (Sh). Pada dasarnya, analisis dihedron dengan Win-Tensor menentukan rezim tegasan (R) dan rasio tegasan (R) yang ditentukan berdasarkan orientasi prinsip tegasan utama. Hasil analisis berdasarkan lima data sesar menunjukkan keberadaan sesar geser mengiri naik pada daerah penelitian disebabkan oleh rezim tegasan kompresi sesar naik (Gambar 8), ditandai dengan kehadiran rezim tegasan utama terbesar Shmax

(warna biru) dan rezim tegasan utama terkecil Shmin (warna hijau) pada diagram dihedron. Optimasi perhitungan rasio tegasan menggunakan inversi tegasan dengan metode optimisasi rotasi hingga diperoleh nilai *misfit angle* $\beta < 30\%$. Arah tegasan kompresi menunjukkan mekanisme deformasi *pure compression* dan menjadi dasar kesimpulan mekanisme deformasi pada daerah penelitian adalah *pure shear*. Konsep ini menunjukkan deformasi pada daerah penelitian tidak menghasilkan *en-echelon vein*, *jogs*, maupun orientasi sesar geser yang membentuk sudut miring terhadap arah tegasan utama (Moody dan Hill, 1956). Model *pure shear* dikonfirmasi pada daerah penelitian dengan kehadiran sumbu lipatan berarah timurlaut tegak lurus dengan arah pemendekan diikuti pembentukan sesar geser yang juga pada kuadran yang sama.



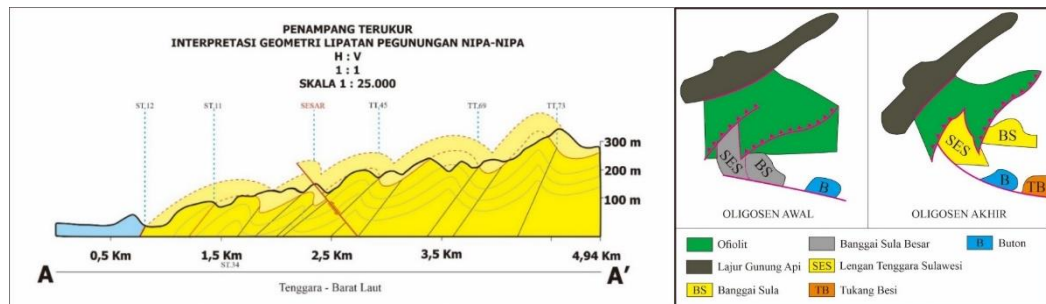
Gambar 8 Penentuan rezim tegasan berdasarkan metode dihedron optimasi rotasi menghasilkan sistem rezim tegasan sesar naik yang bersifat pure compressive

Mengacu pada hasil analisis data sesar dan sumbu perlipatan, dapat dibuat penampang melintang berarah tenggara (**Gambar 9**) searah tegasan utama terbesar (σ_1). Garis putus-putus berwarna merah menunjukkan bagian perbukitan lipatan yang telah tererosi. pada penampang melintang ini juga dijumpai asosiasi sesar pada perlipatan. Tidak adanya struktur geologi yang memotong kalkarenit Kuartir menunjukkan tidak adanya deformasi pada masa resen. Namun deformasi resen dapat terbentuk akibat reaktivasi dari struktur geologi purba. Deformasi pada daerah penelitian terbentuk pada fase awal tumbukan mintakat benua pada Kala Oligosen. Mintakat ini bergerak di sepanjang Sesar Sorong tua yang juga turut membentuk Sesar Lawanopo (Hall, 2012; Hamilton, 1979).

5 Kesimpulan

Pegunungan Nipa-nipa merupakan pegunungan dengan morfologi terjal yang tersusun atas batupasir Formasi Meluhu. Pada daerah pedataran dijumpai batugamping kalkarenit Kuartir. Struktur geologi yang berkembang adalah deformasi getas oleh kehadiran sesar geser dan deformasi teregang oleh kehadiran lipatan rebah dan lipatan menunjam. Dengan analisis dihedron, diperoleh bahwa deformasi pada daerah penelitian terbentuk oleh mekanisme *pure compressive* akibat rezim sesar naik. Deformasi ini terbentuk akibat tumbukan mintakat dengan Kompleks Ophiolit dan tidak dijumpai struktur geologi yang lebih muda pada batugamping

Kuarter. Sangat memungkinkan terjadi *overprinting* deformasi pada batuan Trias daerah penelitian, untuk itu disarankan menggunakan metode kinematika lainnya, seperti analisis keretakan. Pada penelitian ini, episenter gempabumi sebagai bukti deformasi resen tidak berkorelasi dengan hasil analisis yang menunjukkan deformasi yang lebih tua, namun diduga deformasi resen dapat terjadi akibat reaktivasi struktur geologi sebelumnya.



Gambar 9 Penampang melintang daerah penelitian dan mekanisme deformasi dengan tegasan utama berasal dari tumbukan Mintakat Sulawesi bagian tenggara dengan Kompleks Ofiolit pada Kala Oligosen

Referensi

- BMKG, 2019. Katalog Gempabumi Signifikan dan Merusak, 1 ed. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta.
- Brahmantyo, B., Bandono, S., 2006. Klasifikasi bentuk muka bumi (landform) untuk pemetaan geomorfologi pada skala 1:25.000 dan aplikasinya untuk penataan ruang. J. Geoaplika 1, 71–78. <https://doi.org/10.31227/osf.io/8ah6v>
- Dardji, N., Villemin, T., Rampnoux, J.P., 1994. Paleostresses and strike-slip movement: the Cimandiri Fault Zone, West Java, Indonesia. J. Southeast Asian Earth Sci. 9, 3–11. [https://doi.org/10.1016/0743-9547\(94\)90061-2](https://doi.org/10.1016/0743-9547(94)90061-2)
- Davis, G.H., Reynolds, S.J., Kluth, C., 2012. Structural Geology of Rock and Region, 3 ed. John Wiley & Sons Inc, United States of America.
- Delvaux, D., Sperner, B., 2003. New aspects of tectonic stress inversion with reference to the TENSOR program. Geol. Soc. London, Spec. Publ. 212, 75–100. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2003.212.01.06>
- Hall, R., 2012. Late Jurassic–Cenozoic reconstructions of the Indonesian region and the Indian Ocean. Tectonophysics 570–571, 1–41. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.04.021>
- Hamilton, W.B., 1979. Tectonics of the Indonesian Region. U.S. Govt. Print. Off., Professional Paper 1078. <https://doi.org/10.3133/pp1078>
- Lisle, R.J., Leyshon, P.R., 2004. Stereographic Projection Techniques for Geologists and Civil Engineers. Cambridge University Press, London. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139171366>
- McClay, K.R., 1991. The Mapping of Geological Structures (Geological Society of London Handbook), 2 ed. John Wiley & Sons Inc, New York. <https://doi.org/10.1080/00288306.1988.10422149>

- Moody, J.B., Hill, M.J., 1956. Wrench-Fault Tectonics. *Geol. Soc. Am. Bull.* 67, 1207–1246. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[1207:WT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[1207:WT]2.0.CO;2)
- Natawidjaja, D.H., 2021. Riset Sesar Aktif Indonesia dan Peranannya dalam Mitigasi Bencana Gempa dan Tsunami. LIPI Press, Jakarta. <https://doi.org/10.14203/press.400>
- Natawidjaja, D.H., Daryono, M.R., 2015. The Lawanopo Fault, Central Sulawesi, East Indonesia, in: *AIP Conference Proceedings*. hal. 030001. <https://doi.org/10.1063/1.4915009>
- Nurfitriani, Pasau, G., Raharjo, S.S., 2014. Identifikasi Sesar di Wilayah Gorontalo dengan Analisis Mekanisme Bola Fokus. *J. MIPA* 3, 40–43. <https://doi.org/10.35799/jm.3.1.2014.3905>
- Pluijm, V. Der, Marshak, S., 2004. *Earth Structure: An introduction to structural geology and tectonics*, 2 ed. W.W. Norton & Company, London.
- Rickard, M.J., 1972. Fault classification: Discussion. *Geol. Soc. Am. Bull.* 83, 2545–2546. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1972\)83\[2545:FCD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1972)83[2545:FCD]2.0.CO;2)
- Rickard, M.J., 1971. A classification diagram for fold orientations. *Geol. Mag.* 108, 23–26. <https://doi.org/10.1017/S0016756800050925>
- Surono, 2013. *Geologi Lengan Tenggara Sulawesi*, 2 ed. Badan Geologi, Bandung.
- Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta.
- Triani, T., Umam, R., Sismanto, S., 2021. 3D Modeling of Subsurface Lawanopo Fault In Southeast Sulawesi, Indonesia Using Grablox and its Consequence to Geohazard. *Indones. J. Geogr.* 53, 67–77. <https://doi.org/10.22146/ijg.50878>
- Zainuddin, D.B., Hasria, Asfar, S., 2021. Analisis morfotektonik wilayah Pegunungan Nipa-Nipa menggunakan metode geomorfologi kuantitatif Daerah Kota Kendari, Provinsi Sulawesi Tenggara. *OPHIOLITE J. Geol. Terap.* 2, 11–21. <https://doi.org/10.56099/ophiolite.v2i1.11408>