



Geometri dan Sebaran Perlipatan Berdasarkan Analisis Citra Landsat 9 dan TerraSAR-X Daerah Watuputih dan sekitarnya Rembang, Jawa Tengah

Geometry and Folds Distribution Based on Landsat 9 and TerraSAR-X Imageries Analysis of Watuputih and Surrounding Area, Rembang, Central Java

Muhammad Luthfi Faturrahman^{1,3}, Emi Sukiyah², Jamal³

¹Program Magister Teknik Geologi, Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

²Departemen Geosains, Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

³Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
 email: muhammad21317@mail.unpad.ac.id

Naskah diterima: 18 Oktober 2022, Revisi terakhir: 07 Februari 2023, Disetujui: 06 Mei 2023 Online: 08 Mei 2023

DOI: <http://dx.doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v24i2.736>

Abstrak- Citra satelit penginderaan jauh telah umum digunakan dalam penelitian geologi rinci suatu wilayah karena dapat menampilkan fitur-fitur geologi yang sebelumnya tidak teramati secara langsung di lapangan. Daerah penelitian yang secara fisiografis merupakan bagian dari Zona Antiklinorium Rembang dan tersusun oleh lipatan-lipatan yang terbentuk akibat proses tektonik Neogen Akhir. Analisis citra satelit dengan menggunakan teknik *band composite*, *image fusion* dan *principal component analysis* dapat membantu dalam mengidentifikasi geometri dan deliniasi lipatan di daerah Watuputih dan sekitarnya. Perlipatan di daerah Watuputih tersusun atas batuan sedimen berumur Neogen dengan kondisi telah mengalami deformasi dan pelapukan yang intensif terutama pada satuan batugamping. Geomorfologi daerah Watuputih berupa jajaran perbukitan dengan ketinggian kurang dari 400 m, secara genetik terdiri dari perbukitan antiklin dan lembah sinklin berarah relatif barat – timur. Perlipatan di daerah Watuputih diidentifikasi terbentuk akibat Sesar Rembang-Madura-Kangean-Sakala dengan arah barat daya – timur laut.

Abstract- Remote sensing imagery has been widely used in a detailed geological research of an area for its ability to showcase geological feature that can't be seen directly in the field. Research area is a parts of Rembang Anticlinorium zone and composed of folds that formed from late Neogene tectonism. Satellite imagery analysis by using band composite, image fusion and principal component analysis can aid in identifying geometry and folds boundaries in this area. Folds in Watuputih composed of Neogene sedimentary rocks with intense deformation and weathering mainly in limestone bearing formation. Watuputih Geomorphology show a series of hills with altitude below 400 m are composed by anticlinal ridge and synclinal valley with west – east direction. Folds in Watuputih has been identified to be formed by Rembang-Madura-Kangean-Sakala Fault with southwest – northeast orientation.

Keywords: Satellite Imagery, Geomorphology, Landsat, Folds, Rembang

Katakunci : Citra Satelit, Geomorfologi, Landsat, Lipatan, Rembang

PENDAHULUAN

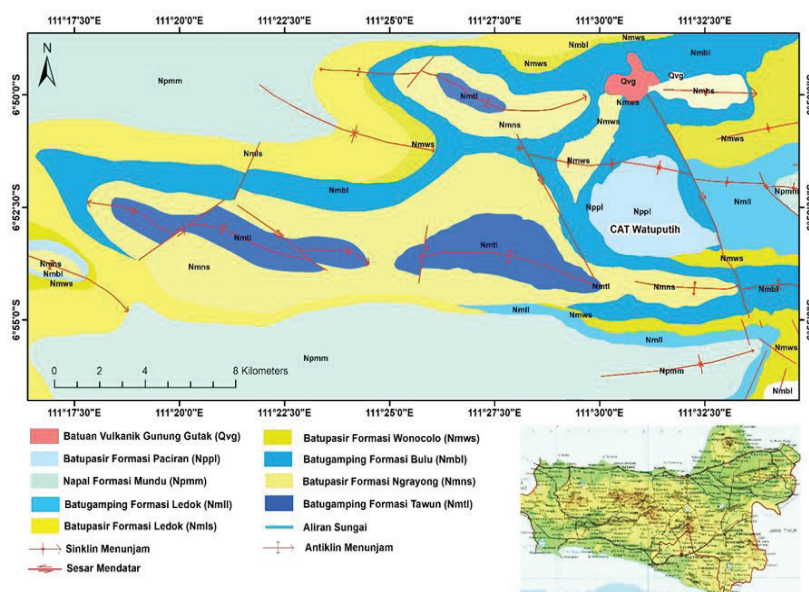
Analisis citra satelit penginderaan jauh yang didukung dengan pengecekan lapangan merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui kondisi geologi rinci dari suatu wilayah. Citra satelit generasi terbaru seperti Landsat-9 dapat menampilkan fitur-fitur geologi seperti lipatan yang sebelumnya tidak teramati secara langsung di lapangan. Lipatan merupakan suatu struktur geologi yang paling umum untuk diamati menggunakan citra satelit (Delcaillau dkk., 2022). Penelitian mengenai pemanfaatan citra landsat dalam identifikasi lipatan pada zona-zona terlipat kuat telah banyak dilakukan oleh para peneliti terdahulu dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi (Das dkk., 2010; Sissakian dkk., 2014). Pemanfaatan citra optis dan radar juga terbukti sangat akurat untuk karakterisasi morfo-struktur dari geometri sesar (Jamal dkk., 2019). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sebaran dan geometri dari lipatan-lipatan yang terletak di daerah Watuputih dengan menggunakan teknik penginderaan jauh.

Daerah penelitian termasuk kedalam bagian CAT Watuputih merupakan suatu sistem hidrogeologi karst yang kompleks karena memiliki banyak mata air dengan debit yang beragam, terdiri atas beberapa formasi batuan dan struktur geologi (Setiawan dkk., 2020). Infiltrasi pada CAT Watuputih di daerah dengan litologi gampingan dan dikontrol oleh struktur geologi akan lebih tinggi dibandingkan daerah dengan litologi non-gampingan dan tidak dikontrol struktur geologi (Asghaf dkk., 2019). Watuputih juga memegang peranan strategis sebagai daerah ekploi-

tasi tambang batugamping terutama batugamping penyusun Formasi Paciran. Formasi Paciran memiliki kandungan dolomit yang lebih tinggi mencapai 31,02% dibandingkan daerah lain sehingga lebih memiliki nilai ekonomis untuk ditambang (Mulyadi dkk., 2019).

Lokasi penelitian terletak di wilayah Kecamatan Watuputih, Kabupaten Rembang dan Kabupaten Blora, Provinsi Jawa Tengah. Secara geografis daerah penelitian terletak pada koordinat $111^{\circ} 16' 23,5''$ - $111^{\circ} 34' 44''$ BT dan $6^{\circ} 56' 47''$ - $6^{\circ} 48' 38''$ LS (Gambar 1). Menurut van Bemmelen (1949) daerah ini termasuk dalam Zona Rembang yang merupakan jajaran perbukitan anklitorium berarah barat – timur sebagai hasil aktivitas tektonik Neogen akhir. Pola Antiklitorium Rembang memiliki sumbu *en-echelon* yang menandakan bahwa perlipatan tersebut merupakan lipatan pasif dan bukan lipatan aktif (Husein dkk., 2016).

Daerah penelitian termasuk dalam peta geologi penginderaan jauh skala 1:50.000 Lembar Jatirogo (Faturrahman & Kusumah, 2017) dan Lembar Blora (Novita dkk., 2017) (Gambar 1). Berdasarkan peta tersebut diketahui bahwa batuan penyusun pada daerah penelitian terdiri dari formasi batuan sedimen berumur Neogen dan lava andesit berumur Kuartar. Berdasarkan Peta Geomorfologi skala 1:100.000 Lembar Jatirogo (Poedjoprajitno & Cita, 2016) dan Lembar Rembang (Santoso dkk., 2013) morfologi daerah penelitian didominasi oleh bentukan asal struktural dan struktural terdenudasi.



Gambar 1. Peta geologi regional daerah Watuputih dan sekitarnya modifikasi dari Faturrahman & Kusumah (2017) & Novita dkk (2017).

METODOLOGI

Penelitian ini terdiri dari 2 tahapan, yaitu pengolahan citra satelit dan observasi di lapangan. Analisis data dilakukan dengan teknik *colour composite*, *principal component analysis* dan *image fusion* pada citra Landsat 9 dan TerraSAR-X (Gambar 2). Penggunaan kedua jenis citra tersebut telah terbukti dapat digunakan dalam pemetaan geologi skala 1:50.000 (Petunjuk Teknis Penyajian Peta Geologi Inderaan Jauh Skala 1:50.000, 2016). Observasi lapangan mencakup identifikasi litologi, bentuk morfologi dan pengamatan bukti aktivitas tektonik pada beberapa lokasi.

Penelitian ini menggunakan citra Landsat 9 yang diakuisisi pada tanggal 5 Agustus 2022. Landsat 9 merupakan satelit dengan sensor citra terbaru (USGS, 2021). Satelit ini membawa 2 jenis sensor yaitu *Operational Land Imager-2* (OLI-2) dan *Thermal Infrared Sensor-2* (TIRS-2). Landsat 9 memiliki peningkatan akurasi radiometri menjadi 14-bit dibandingkan 12-bit pada Landsat 8. Peningkatan akurasi radiometri akan berperan dalam peningkatan akurasi nilai *reflectance* maupun *radiance* (Wulder dkk., 2019). TerraSAR-X merupakan satelit radar milik Jerman yang dapat menghasilkan citra dengan resolusi spasial tinggi mencapai 5 m pada citra *Orthorectified Image* (ORI) dan 10 m pada Citra *Digital Elevation Model* (DEM) (Werninghaus dan Buckreuss, 2009). Data TerraSAR-X yang digunakan pada penelitian ini menggunakan data internal hasil akuisisi Pusat Survei Geologi pada tahun 2012.

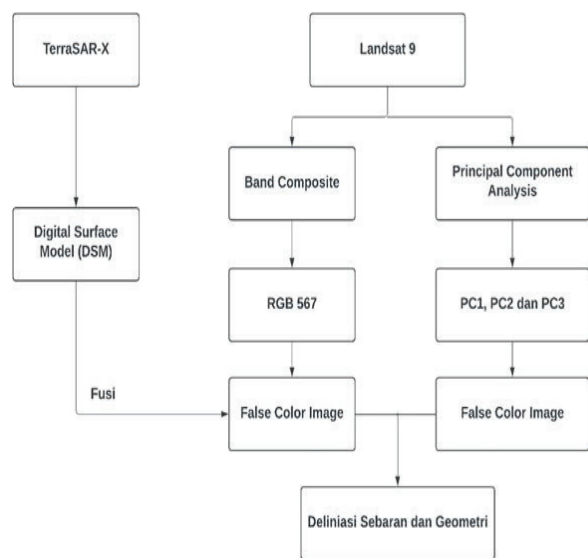
Colour composite adalah teknik kombinasi kanal data yang menghasilkan kombinasi data pada warna *Red-Green-Blue* (RGB) untuk menghasilkan *false colour image* (FCI). Kombinasi yang digunakan adalah RGB pada kanal 5,6 & 7 untuk menonjolkan kenampakan litologi, struktur geologi maupun kenampakan geologi lainnya (Banerjee dkk., 2019). *Image fusion* merupakan tahapan yang dilakukan selanjutnya dimana FCI tersebut digabungkan dengan citra DSM-TerraSAR-X (Gambar 3). Fusi dari kedua citra tersebut akan menghasilkan citra yang lebih informatif untuk dilakukan deliniasi batas satuan batuan (Mawardi dkk., 2019).

Principal component analysis (PCA) menggunakan 8 kanal OLI multispectral merupakan salah satu metode yang sering digunakan untuk membantu dalam deliniasi batas litologi. PCA akan menghasilkan 8 citra *principal component* (PC1-8) dengan PC1 merupakan citra yang memiliki persentase varians paling tinggi dan PC8 merupakan citra den-

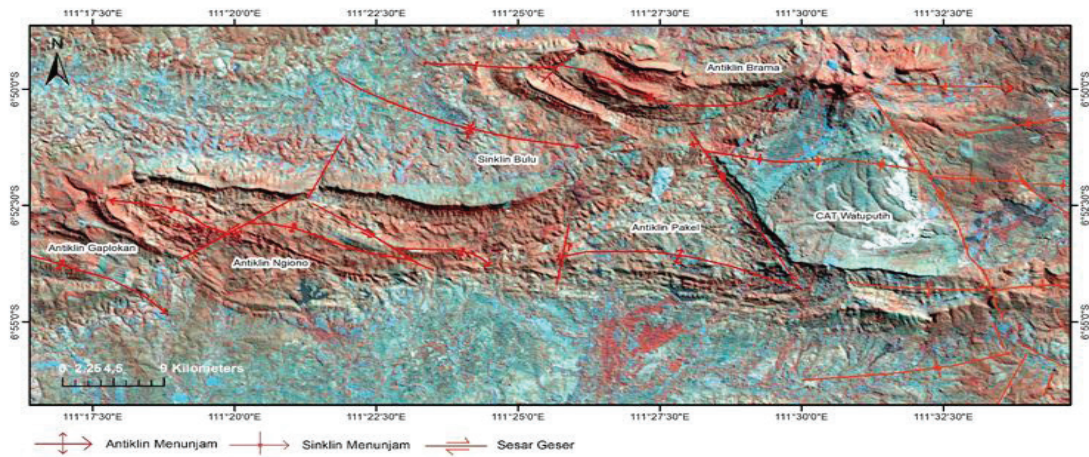
gan persentase varians paling rendah. Citra *colour composite* yang dihasilkan menggunakan kombinasi *principal component* akan menghasilkan citra dengan kontras yang lebih tinggi dibandingkan dengan kombinasi spektral (Sadek dkk., 2020). Citra dengan kontras tinggi akan membantu dalam deliniasi sebaran dan geometri dari perlipatan di permukaan. Citra *colour composite* tersebut akan dibentuk menggunakan kombinasi PC1,PC2 dan PC3 pada kanal RGB (Gambar 4).

HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI

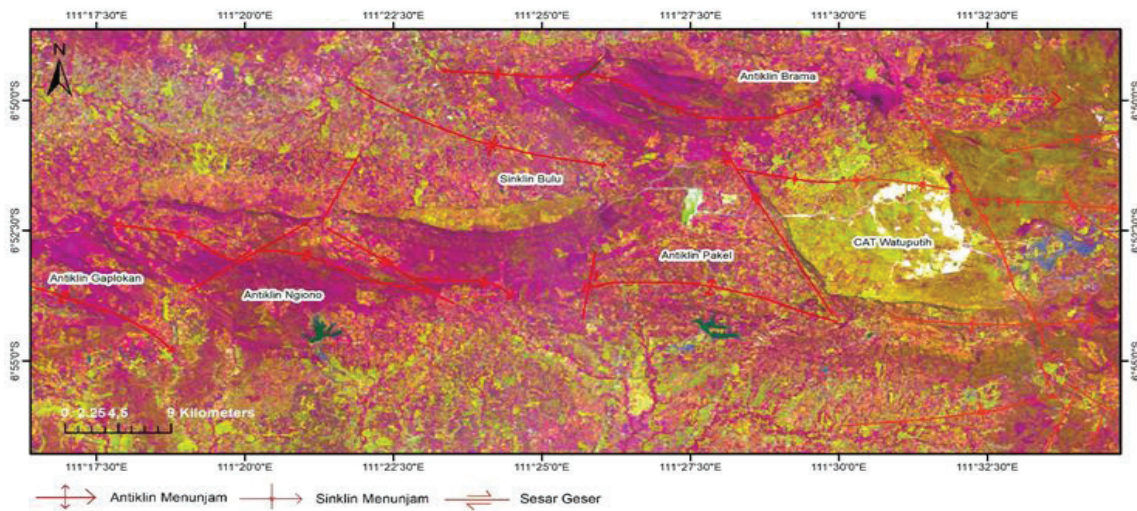
Pengolahan citra menggunakan modul *arc tool box* pada perangkat lunak ArcGIS untuk menghasilkan 2 jenis citra yang dijadikan dasar dalam analisis, yaitu citra fusi Landsat 9 + TerraSAR-X dan citra *false colour* menggunakan *principal component analysis* (FCPC) (Gambar 3 & 4). Citra fusi memberikan tampilan yang memperlihatkan adanya kontras pada topografi sebagai penanda hadirnya lipatan-lipatan pada daerah penelitian. Citra FCPC memberikan tampilan yang memperlihatkan adanya kontras perbedaan litologi pada batuan sedimen berlapis dan batugamping masif di daerah timur area penelitian. Lipatan-lipatan tersebut kemudian diberi nama untuk mempermudah dalam pembahasan mengenai sebaran maupun geometrinya dengan rincian dari barat ke timur meliputi Antiklin Gaplokan, Antiklin Ngiono, Sinklin Bulu, Antiklin Brahma dan Antiklin Pakel (Tabel 1).



Gambar 2. Diagram Alir Pengolahan Data Citra Satelit



Gambar 3. Fusi Citra Landsat 9 (5,6,7) dan DSM Terra-SAR-X yang menunjukkan adanya kontras topografi sebagai penanda keterdapatn lipatan pada daerah Watuputih dan sekitarnya.



Gambar 4. Citra Color Composite (PC1,2,3) yang menunjukkan perbedaan kontras litologi pada satuan batuan sedimen yang telah terlipat dan batugamping Formasi Paciran di daerah Watuputih dan sekitarnya.

Tabel 1. Geometri Lipatan di daerah Watuputih dan sekitarnya (PJ: Penginderaan Jauh; PL: Pengamatan Lapangan)

<u>Nama Lipatan</u>	<u>Lebar Maksimal</u> (Km)(PJ)	<u>Panjang</u> (Km)(PJ)	<u>Kemiringan</u> <u>Savap Relatif</u> (°)(PL)	<u>Arah Sumbu Lipatan</u> (PJ)
Antiklin Gaplok	2,33	5,05	15 - 43	barat laut - tenggara
Antiklin Ngiono	6,32	12,95	14 - 36	barat - timur
Sinklin Bulu	5,07	8,25	11 - 19	barat laut - tenggara
Antiklin Brama	3,82	12,05	20 - 45	barat - timur
Antiklin Pakel	6,82	15,05	22 - 45	barat - timur

Antiklin Gaplokan merupakan antiklin di bagian barat daerah penelitian yang tersusun oleh satuan batupasir Formasi Ngrayong, batugamping Formasi Bulu, batupasir Formasi Wonocolo dan batupasir Formasi Ledok. Deliniasi pada citra satelit menunjukkan sumbu antiklin Gaplokan memiliki arah barat laut – tenggara dengan panjang sumbu 5,05 km dan lebar maksimal 2,33 km. Pengamatan lapangan menunjukkan lapisan batuan pada sayap lipatan memiliki kemiringan berkisar 15° - 43° . Secara topografi, antiklin ini belum mengalami pembalikan dimana satuan batuan pada inti antiklin masih menempati topografi lebih tinggi dibandingkan satuan pada sayap-sayapnya. Geometri Antiklin Gaplokan menunjukkan bentuk lipatan non-silindris yang dicirikan oleh adanya pelengkungan pada *hinge line* dan penunjaman ujung lipatan ke arah timur.

Antiklin Ngiono terletak pada bagian tengah daerah penelitian. Deliniasi sayap antiklin Ngiono dapat teramati dengan jelas pada citra Fusi maupun FCPC. Antiklin ini tersusun oleh satuan batugamping Formasi Tawun, batupasir Formasi Ngrayong dan batugamping Formasi Bulu. Deliniasi pada citra satelit menunjukkan sumbu antiklin Ngiono memiliki arah barat – timur dengan panjang sumbu 12,95 km dan lebar maksimal 6,32 km. Pengamatan lapangan menunjukkan lapisan batuan pada sayap lipatan memiliki kemiringan berkisar 14° - 36° . Secara topografi, antiklin ini sudah mengalami pembalikan dimana satuan batuan pada inti antiklin sudah menempati topografi yang lebih rendah dibandingkan sayap-sayapnya. Geometri antiklin Ngiono menunjukkan bentuk lipatan non-silindris yang dicirikan adanya pelengkungan pada *hinge line* dan penunjaman pada kedua ujung lipatan.

Sinklin Bulu merupakan lipatan yang terletak di bagian utara daerah penelitian dan tersusun oleh satuan batugamping Formasi Bulu, batupasir Formasi Wonocolo, batupasir Formasi Ledok dan napal Formasi Mundu. Deliniasi pada citra satelit menunjukkan sumbu Sinklin Bulu memiliki arah barat laut – tenggara dengan panjang sumbu 8,25 km dan lebar maksimal 5,07 km. Pengamatan lapangan menunjukkan lapisan batuan pada sayap lipatan memiliki kemiringan berkisar 11° - 19° . Sinklin Bulu mengalami penunjaman ke arah timur dan menerus kembali pada bagian utara CAT Watuputih. Geometri sinklin Bulu menunjukkan bentuk lipatan silindris yang dicirikan oleh arah *hinge line* yang relatif lurus dan tidak mengalami pelengkungan.

Antiklin Brama terletak di bagian utara CAT Watuputih dan tersusun oleh satuan batugamping Formasi Tawun, batupasir Formasi Ngrayong, batugamping

Formasi Bulu, batupasir Formasi Wonocolo dan batupasir Formasi Ledok. Pada citra satelit tampak bahwa sumbu antiklin Brama memiliki arah barat – timur dengan panjang sumbu 12,05 km dan lebar maksimal 3,82 km. Hasil pengamatan di lapangan menunjukkan lapisan batuan pada sayap lipatan memiliki kemiringan berkisar 20° - 45° . Geometri antiklin Brama menunjukkan bentuk lipatan non-silindris yang dicirikan adanya pelengkungan pada *hinge line* dan penunjaman pada kedua ujung lipatan.

Antiklin Pakel memiliki sebaran paling luas di daerah penelitian, terletak pada bagian selatan CAT Watuputih. Antiklin ini tersusun oleh satuan batugamping Formasi Tawun, batupasir Formasi Ngrayong, batugamping Formasi Bulu dan batupasir Formasi Wonocolo. Pada citra satelit, sumbu antiklin Pakel tampak berarah barat – timur dengan panjang sumbu 15,05 km dan lebar maksimal 6,82 km. Pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa lapisan batuan pada sayap lipatan memiliki kemiringan berkisar 22° - 45° . Geometri Antiklin Pakel merupakan bentuk lipatan non-silindris yang dicirikan adanya pelengkungan pada *hinge line* dan penunjaman ujung lipatan ke arah timur.

Lipatan-lipatan yang terletak pada daerah penelitian telah teridentifikasi memiliki bentuk pola lipatan *en-echelon*, suatu manifestasi aktivitas tektonik yang diakibatkan oleh gaya tektonik regional dengan mekanisme *simple shear* (Campbell, 1958). Sesar sinistral Rembang-Madura-Kangean-Sakala (RMKS) teridentifikasi menjadi gaya tektonik yang berperan dalam pembentukan antiklinorium Rembang (Satyana dkk., 2004).

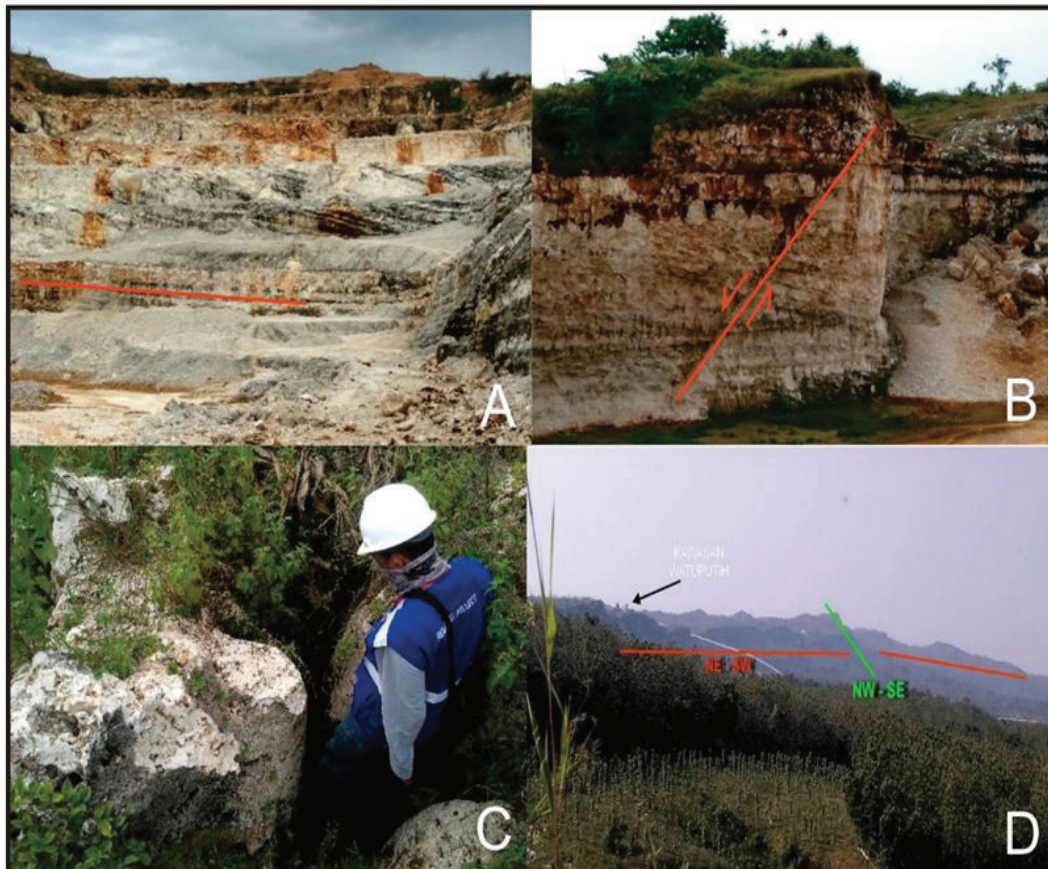
Hasil pengamatan di lapangan telah berhasil memetakan sebaran satuan-satuan batuan yang terbagi menjadi 9 satuan batuan berumur Miosen Awal – Plistosen. Konfirmasi hasil analisis data penginderaan jauh yang dilakukan dengan metode survei lapangan (*ground truth*), memperlihatkan kesesuaian dari setiap sebaran batuan dan perlipatan. Satuan batuan tersebut didominasi oleh batuan sedimen dengan litologi berupa batugamping, batupasir dan napal hasil rinci dari Formasi batuan yang sebelumnya. Lapisan batuan sedimen tersebut pada umumnya memiliki kemiringan lapisan relatif rendah – menengah (10° - 51°) dan tersebar berarah jurus relatif barat – timur hingga barat laut – tenggara (Gambar 5a).

Batuan di daerah penelitian juga telah mengalami proses deformasi yang ditandai dengan hadirnya sesar dan kekar gerus pada tubuh batuan (Gambar 5b). Satuan-satuan batuan yang dominan tersusun oleh

batugamping telah mengalami pelapukan intensif, dicirikan dengan hadirnya lubang-lubang pelarutan maupun bentukan gua runtuhan terutama pada satuan batugamping Formasi Bulu (Gambar 5c). Pelapukan pada tubuh batuan tersebut juga tercermin pada sebaran perlipatan di daerah penelitian dimana inti dari puncak lipatan pada umumnya sudah tidak utuh dan satuan batuan penutupnya sudah hilang tererosi.

Pemahaman geomorfologi di daerah penelitian telah

dapat memverifikasi bahwa bentukan morfologi di daerah penelitian pada umumnya terdiri dari rangkaian perbukitan dengan ketinggian relatif <400 mdpl (Gambar 5d). Perbukitan-perbukitan tersebut berupa jajaran punggung antiklin (*anticlinal ridge*) maupun lembah sinklin (*synclinal valley*) yang memanjang dengan arah barat – timur, terbentuk akibat proses tektonik maupun pelapukan yang telah terjadi selama ini.



Gambar 5a. Batugamping Formasi Paciran berlapis baik dengan arah jurus kemiringan lapisan batuan ($U335^{\circ}/10^{\circ}$); 5b. Kenampakan sesar Normal pada Batugamping Formasi Paciran (arah jurus bidang sesar $U320^{\circ}/77^{\circ}$); 5c. *Sinkhole* pada batugamping akibat proses pelarutan; 5d. Morfologi perbukitan bergelombang akibat perlipatan

KESIMPULAN

Penggunaan citra satelit (optis & radar) dengan metode *image fusion* dan PCA dapat membantu dalam identifikasi geometri dan deliniasi sebaran lipatan di daerah Watuputih. Geomorfologi daerah ini tersusun oleh 5 lipatan dengan arah sumbu relatif barat-timur yang menunjukkan orientasi struktur *en-echelon* dan mengalami pelapukan yang intensif. Lipatan-lipatan tersebut tersusun oleh batuan sedimen berumur Neogen dengan kondisi sudah terdeformasi dan terlapukkan. Struktur perlipatan membentuk rangkaian

perbukitan dengan jajaran punggung antiklin dan lembah sinklin.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kepala Pusat Survei Geologi dan rekan-rekan Kelompok Kerja Pemetaan Geologi atas bantuannya selama melakukan kegiatan Survei dan Pemetaan Geologi di daerah penelitian.

ACUAN

- Asghaf, N., Alam, B., dan Hendarmawan, H., 2019. Identifikasi Zona Infiltrasi Airtanah di Kawasan Karst Berdasarkan Nilai Tekanan Parsial CO₂ dan Indeks Kejenuhan CaCO₃ (SIc) di Sekitar Perbukitan Karst Watuputih. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi* 10. <https://doi.org/10.34126/jlbg.v10i2.251>
- Banerjee, K., Jain, M., Panda, S., dan Jeyaseelan, A., 2019. Landsat 8 OLI Data for Identification of Hydrothermal Alteration Zone in Singhbhum Shear Zone using Successive Band Depth Difference Technique—A New Image Processing Approach. *Current Science* 116:1639–1647. <https://doi.org/10.18520/cs/v116/i10/1639-1647>
- Campbell, J.D., 1958. *En echelon folding*. *Economic Geology*, [online] 53(4), pp.448–472. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.53.4.448>.
- Das, J.D., Saraf, A.K., and Shujat, Y., 2010. A Remote Sensing Technique for Identifying Geometry and Geomorphological Features of the Indo-Burman Frontal Fold Belt. *Int J Remote Sens*, 31: 4481–4503. <https://doi.org/DOI:10.1080/01431160903154366>
- Delcaillau, B., Graveleau, F., Carlier, D. saint, Rao, G., le Béon, M., Charreau, J. and Nexer, M., 2022. Geomorphic Analysis of Active Fold Growth and Landscape Evolution in the Central Qiulitage Fold Belt, Southern Tian Shan, China. *Geomorphology*, 398, p.108063. <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2021.108063>.
- Faturrahman, M.L. dan Kusumah, K.D., 2017. *Peta Geologi Penginderaan Jauh Lembar Jatirogo skala 1 : 50.000*. Bandung: Pusat Survei Geologi.
- Husein, S., Sakur, M. and Setianto, A., 2016. *En echelon distribution in Rembang Anticlinorium*. In: Prosiding Seminar Nasional Kebumihan ke-9 Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. pp.70–82.
- Jamal, J., Sulaksana, N., Sukiyah, E. dan Andriana Sendjaja, Y., 2019. Analisis Multi Raster SRTM, Radarsat dan Landsat untuk Karakterisasi Morfo-struktur dari Geometri Sesar di Daerah Binuang, Kalimantan Selatan. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 20(1):49-61. <https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v20i1.405>.
- Mawardi, S., Sukiyah, E. dan Haryanto, I., 2019. Morphotectonic Characteristics Of Cisadane Watershed Based On Satellite Images Analysis. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 20(3):175-186. <https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v20i3.464>.
- Mulyadi, D., Solihin, Permana, H. and Yuniati, M.D., 2019. Petrography and XRD Mineral Dolomites, Paciran Formation, District of Lamongan, East Java. *Journal of Physics: Conference Series*, [online] 1280(2), p.022075. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1280/2/022075>.
- Novita, D., Sanjaya, I., Margono, U., Rijani, S., dan Mawardi, S., 2017. *Peta Geologi Penginderaan Jauh Lembar Blora skala 1 : 50.000*. Bandung: Pusat Survei Geologi.
- Petunjuk Teknis Penyajian *Peta Geologi Inderaan Jauh Skala 1:50.000*, Edisi Pertama, 2016. Pusat Survei Geologi, Bandung.
- Poedjoprajitno, S., dan Cita, A., 2016. *Peta Geomorfologi Skala 1 : 100.000 Lembar Jatirogo*. Bandung: Pusat Survei Geologi Bandung.
- Sadek, M., El-kalioubi, B., Ali-Bik, M., Hefnawi, M. and Elnazer, A., 2020. Utilizing Landsat-8 and ASTER data in Geologic Mapping of Hyper-Arid Mountainous Region: Case of Gabal Batoga Area, South Eastern Desert of Egypt. *Environmental Earth Sciences*, <https://doi.org/10.1007/s12665-020-8845-4>. 79:1-19
- Santoso, Suharsono, Mulyana, H., dan Erwanto, T., 2013. *Peta Geomorfologi Skala 1 : 100.000 Lembar Rembang*: Pusat Survei Geologi Bandung.
- Satyana, A.H., Erwanto, E. dan Prasetyadi, C., 2004. Rembang-Madura-Kangean-Sakala (RMKS) Fault Zone, East Java Basin: the Origin and Nature of A Geologic Border. *Proc. IAGI, 33rd., Ann. Conv. and Exh.*, Bandung.
- Setiawan, T., Syah Alam, B.Y.C.S.S. dan Haryono, E., 2020. Hydrochemical and environmental isotopes analysis for characterizing a complex karst hydrogeological system of Watuputih area, Rembang, Central Java, Indonesia. *Hydrogeology Journal*, 28(5):1635–1659. <https://doi.org/DOI:10.1007/s10040-020-02164-4>.
- Sissakian, V.K., Kadhim, T.H., Jab'bar, M.F.A., 2014. Geomorphology of the High Folded Zone, in: *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*. pp. 7–51.
- USGS, 2021. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-9>.
- van Bemmelen, R.W., 1949. *General Geology of Indonesia*. The Hague: Martinus Nijhoff, Nijhoff, The Hague.
- Werninghaus, R. and Buckreuss, S., 2009. The TerraSAR-X Mission and System Design. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(2):606–614.
- Wulder, M.A., Loveland, T.R., Roy, D.P., Crawford, C.J., Masek, J.G., Woodcock, C.E., Allen, R.G., Anderson, M.C., Belward, A.S., Cohen, W.B., Dwyer, J., Erb, A., Gao, F., Griffiths, P., Helder, D., Hermosilla, T., Hipple, J.D., Hostert, P., Hughes, M.J., Huntington, J., Johnson, D.M., Kennedy, R., Kilic, A., Li, Z., Lymburner, L., McCorkel, J., Pahlevan, N., Scambos, T.A., Schaaf, C., Schott, J.R., Sheng, Y., Storey, J., Vermote, E., Vogelmann, J., White, J.C., Wynne, R.H. and Zhu, Z., 2019. Current Status of Landsat Program, Science, and Applications. *Remote Sensing of Environment*, [online] 225:127–147. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.015>.

