

GEOLOGI DAERAH KEDUNGPOH DAN SEKITARNYA, KABUPATEN GUNUNGKIDUL, PROVINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

S.F. Lestari¹, Harnani^{1*}

¹ Program Studi Teknik Geologi, Universitas Sriwijaya, Palembang

*Corresponding author e-mail: harnani@ft.unsri.ac.id

ABSTRAK: Pemetaan geologi di daerah Kedungpoh dan sekitarnya, Kabupaten Gunung Kidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik geologi yang meliputi geomorfologi, stratigrafi, struktur geologi, serta sejarah geologi pembentukannya. Metode yang digunakan meliputi pemetaan geologi permukaan, pengamatan lapangan, pengukuran struktur, pengambilan sampel batuan, serta analisis laboratorium petrografi dan paleontologi. Berdasarkan hasil penelitian, daerah ini dibagi menjadi tujuh satuan geomorfik yang terdiri dari bentuk lahan denudasional, struktural, fluvial, dan vulkanik. Urutan stratigrafi daerah penelitian tersusun atas Formasi Kebobutak (Oligosen Akhir–Miosen Awal), Formasi Semilir (Miosen Awal), Formasi Nglanggran (Miosen Awal), Formasi Sambipitu (Miosen Awal), Formasi Oyo (Miosen Tengah–Akhir), dan Formasi Wonosari (Miosen Tengah–Akhir). Struktur geologi yang berkembang berupa Sesar Pilangrejo dan Sesar Pengkol dengan arah tegasan utama barat–timur yang terbentuk pada kala Plio–Pleistosen akibat aktivitas tektonik kompresional. Secara umum, sejarah geologi menunjukkan proses sedimentasi berkesinambungan dari lingkungan laut dalam hingga laut dangkal yang kemudian diikuti oleh pengangkatan dan deformasi tektonik.

Kata Kunci: Cekungan Wonosari, Geologi, Geomorfologi, Stratigrafi, Struktur Geologi

ABSTRACT: *Geological mapping in the Kedungpoh area and its surroundings, Gunung Kidul Regency, Special Region of Yogyakarta Province, aims to identify geological characteristics, including geomorphology, stratigraphy, geological structures, and the geological history of its formation. The methods used include surface geological mapping, field observations, structural measurements, rock sampling, and petrographic and paleontological laboratory analysis. Based on the results of the study, this area is divided into seven geomorphological units consisting of denudational, structural, fluvial, and volcanic landforms. The stratigraphic sequence of the study area consists of the Kebobutak Formation (Late Oligocene–Early Miocene), Semilir Formation (Early Miocene), Nglanggran Formation (Early Miocene), Sambipitu Formation (Early Miocene), Oyo Formation (Middle–Late Miocene), and Wonosari Formation (Middle–Late Miocene). The geological structures that developed were the Pilangrejo Fault and the Pengkol Fault with a main west–east strike formed during the Pliocene–Pleistocene epoch due to compressional tectonic activity. In general, the geological history shows a continuous sedimentation process from a deep sea to a shallow sea environment, which was then followed by uplift and tectonic deformation*

Keywords: Wonosari Basin, Geology, Geomorphology, Stratigraphy, Geological Structure

1 Pendahuluan

Daerah Kedungpoh dan sekitarnya secara fisiografis termasuk dalam Cekungan Wonosari, bagian dari Zona Pegunungan Selatan Jawa. Cekungan ini terbentuk akibat proses pengangkatan dan pelipatan pada Kala Pleistosen Tengah yang berkaitan dengan subduksi antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Mikro Sunda [1]. Aktivitas tektonik tersebut menghasilkan variasi litologi, struktur

sesar, dan urutan stratigrafi dari Kala Oligosen hingga Miosen. Kompleksitas geologi ini menjadikan daerah Kedungpoh menarik untuk dikaji guna memahami keterkaitan proses tektonik dan perkembangan sedimentasi di Cekungan Wonosari.

Penelitian ini berfokus pada pemetaan geologi permukaan untuk mengidentifikasi aspek geomorfologi, stratigrafi, dan struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian. Pemetaan geologi penting dilakukan karena

memberikan gambaran menyeluruh tentang tatanan geologi wilayah melalui observasi langsung, deskripsi singkapan, dan analisis laboratorium [2]. Sejumlah penelitian terdahulu di wilayah Gunungkidul dan Pegunungan Selatan menunjukkan bahwa satuan batuan di zona ini tersusun atas litologi klastik dan karbonat berumur Oligosen–Miosen yang dipengaruhi oleh evolusi tektonik busur Sunda [3], [4].

2 Metode Penelitian

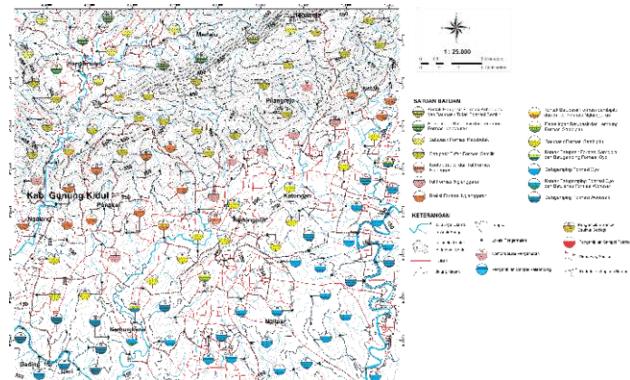
Penelitian ini menggunakan metode pemetaan geologi permukaan dengan pendekatan deskriptif-analitik untuk mengidentifikasi kondisi geologi daerah Kedungpoh dan sekitarnya. Tahapan penelitian meliputi pra-lapangan, lapangan, dan pascalapangan [5]. Kegiatan pra-lapangan mencakup studi literatur, penentuan lokasi berdasarkan Peta Geologi Regional Lembar Surakarta, serta perencanaan lintasan pengamatan. Tahap lapangan dilakukan melalui observasi singkapan, deskripsi litologi, pengukuran struktur geologi, serta pengambilan sampel batuan. Selain itu, dilakukan analisis geomorfologi meliputi morfografi, morfometri, dan proses geomorfik untuk menentukan satuan bentuk lahan.

Tahap pascalapangan meliputi analisis laboratorium petrografi dan mikropaleontologi untuk mengetahui komposisi mineral, tekstur batuan, umur, dan lingkungan pengendapan. Data hasil lapangan dan laboratorium diintegrasikan dalam pembuatan peta geologi, penampang stratigrafi, dan model evolusi geologi daerah penelitian. Metode ini dipilih karena efektif menggambarkan kondisi geologi secara menyeluruh, menggabungkan pengamatan langsung di lapangan dengan analisis mikroskopis yang mendukung interpretasi stratigrafi dan struktur geologi secara akurat.

3 Hasil dan Pembahasan

Geologi daerah penelitian merupakan hasil interpretasi dan analisis dari kumpulan data lapangan yang telah diambil, dikelola, dianalisis di laboratorium maupun studio serta dikompilasi dengan studi pustaka regional daerah penelitian. Hal tersebut terdiri dari aspek-aspek geologi yang diuraikan menjadi aspek geomorfologi, stratigrafi dan struktur geologi. Geomorfologi menggambarkan bentukan lahan pada daerah penelitian. Stratigrafi berhubungan urutan batuan dari segi lithostratigrafi, umur, dan lingkungan pengendapan. Struktur geologi menjelaskan deformasi yang berkembang

pada daerah penelitian. Ketiga aspek tersebut akan membantu dalam menyusun dan merekonstruksi sejarah geologi pada daerah penelitian. Berdasarkan peta lintasan lokasi penelitian terdiri dari 107 lokasi penelitian yaitu dengan 7 sayatan petrografi, 3 sampel paleontologi, dan 2 analisa struktur (Gambar 1).

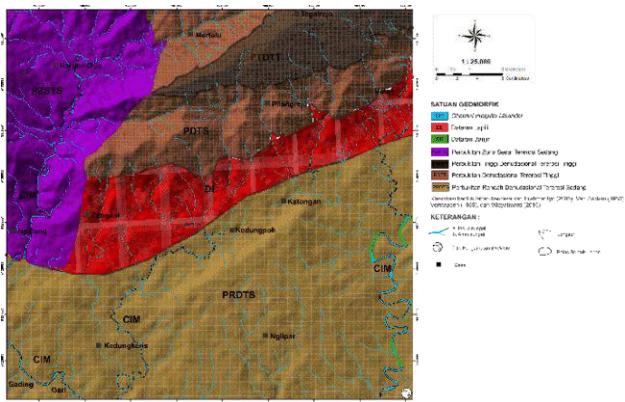


Gambar 1. Peta Lintasan Lokasi Penelitian

3.1 Geomorfologi

Analisis bentuk morfologi di lokasi penelitian didasarkan pada dua aspek utama, yaitu aspek fisik dan aspek dinamik. Aspek fisik mencakup kenampakan morfologi yang terbentuk, yang ditentukan melalui parameter morfometri dan morfografi [2], [6]. Satuan geomorfik di daerah penelitian terdiri atas bentuk lahan hasil proses denudasi, struktural, fluvial, dan vulkanik. Perbukitan rendah denudasional tererosi sedang mencakup sekitar 44% wilayah di bagian utara dan barat laut dengan morfologi landai hingga bergelombang (*relative relief* 20,41–438,23 m) serta pola aliran dendritik pada batugamping Formasi Oyo dan Wonosari. Perbukitan denudasional dan tinggi denudasional tererosi tinggi memiliki kemiringan curam (*relative relief* >438 m), mencakup sekitar 18% wilayah di Desa Pilangrejo, Mertelu, dan Tegalrejo, dengan litologi batupasir tufan Formasi Semilir. Perbukitan zona sesar tererosi sedang (11%) terbentuk akibat aktivitas tektonik, memperlihatkan pola aliran rectangular dan tersusun atas Formasi Nglanggran, Semilir, dan Kebobutak.

Selain itu, dataran lapili (14%) terbentuk dari endapan piroklastik breksi dan tuf Formasi Nglanggran dengan pola aliran dendritik, sedangkan dataran banjir (5%) merupakan endapan aluvial di tepi sungai dengan kemiringan sangat rendah. Channel irregular meander (CIM) (8%) berkembang di sepanjang Sungai Oyo, Juwet, dan Dongdong, menunjukkan pola kelokan sungai tidak beraturan akibat proses erosi lateral yang aktif.(Gambar 2).



Gambar 2. Peta Geomorfologi Daerah Penelitian

3.2 Stratigrafi

Stratigrafi daerah Kedungpoh dan sekitarnya termasuk dalam urutan batuan berumur Oligosen Akhir hingga Miosen Akhir yang tersusun atas beberapa formasi utama. Satuan tertua adalah Formasi Kebobutak (Tomk) yang terdiri atas batupasir dan batulempung, diikuti secara selaras oleh Formasi Semilir (Tms) yang tersusun atas batupasir tufan dan tuf. Di bawahnya terdapat Formasi Nglanggran (Tmng) dengan litologi breksi dan tuf, kemudian Formasi Sambipitu (Tmss) yang terdiri atas batupasir halus dan batulempung karbonatan.

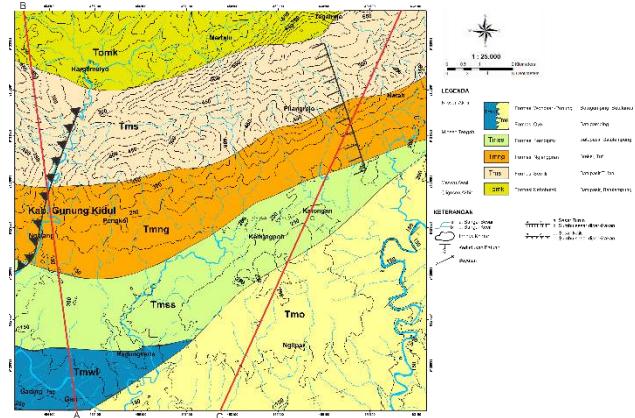
Selanjutnya, di bagian bawah tersingkap Formasi Oyo (Tmo) yang didominasi batugamping, serta Formasi Wonosari (Tmwl) yang tersusun atas batugamping berlapis dan batulanau. Hubungan antarformasi umumnya selaras dan menunjukkan urutan pengendapan berlanjut dari batuan sedimen klastik ke batuan karbonat. (Gambar 3).

Umur		Formasi	Satuan Batuan	Lingkungan Pengendapan	
Zaman	Kala	Simbol			
Miosen	Akhir	(Lm)	Formasi Wonsari	Batungamping	Outer Shelf
	Tengah	(Tm)	Formasi Oyo	Batugamping dan Batubulan	Outer Shelf
	Awal	(Tms)	Formasi Sampitupu	Batupasir dan Batudempung	Inner Shelf
		(Tmg)	Formasi Nglanggrang	Breksi dan Tuf	Continental Shelf - Submarine Fan
		(Tms)	Formasi Semilir	Batupasir tufan	Submarine Fan
Oligogen	Akhir	(Tork)	Formasi Kebobutan	Batupasir dan Batudempung	Alluvial Fan

Gambar 3. Stratigrafi Daerah Penelitian

Formasi termuda adalah Formasi Wonosari yang berumur Miosen Akhir, terdiri atas batugamping terumbu dan batugamping berlapis yang menunjukkan lingkungan laut tenang. Struktur geologi yang berkembang meliputi sesar naik Pilangrejo dan sesar naik Pengkol yang berarah barat-timur akibat gaya kompresi dari selatan pada Kala Pliosen-Pleistosen, yang menyebabkan pengangkatan serta pembentukan morfologi perbukitan bergelombang hingga karst di bagian selatan. Secara keseluruhan, hubungan stratigrafi di daerah ini bersifat selaras dan

menunjukkan evolusi pengendapan berkelanjutan dari laut dalam vulkanik menuju laut dangkal karbonatan di Pegunungan Selatan Jawa.(Gambar 4).



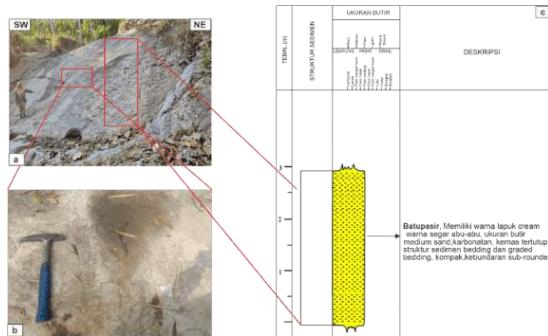
Gambar 4. Peta Geologi Daerah Penelitian

3.2.1 Formasi Kebobutak (Tomk)

Formasi Kebobutak merupakan formasi tertua pada daerah penelitian yang berumur Miosen Awal. Formasi ini mencakup 12,8% dari total luas wilayah daerah penelitian. Singkapan batuannya umumnya ditemukan di sekitar Desa Hargomulyo, Desa Mertelu, dan Desa Tegalrejo. Pola penyebaran Formasi Kebobutak ialah Timur Laut – Barat Daya (NE – SW). Formasi Kebobutak (Tomk) membentuk morfologi perbukitan - perbukitan tinggi dengan elevasi berkisar 300 - 750 mdpl. Satuan batuan pada Formasi Kebobutak terdiri dari satuan batupasir dan batulempung, dengan lingkungan pengendapan *submarine fan*

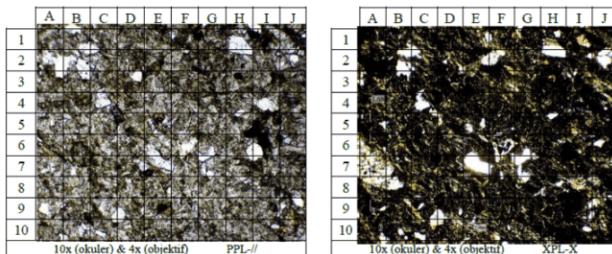
3.2.1.1 Satuan Batupasir Formasi Kebobutak (Tomk)

Satuan batupasir Formasi Kebobutak umumnya ditemukan di sekitar Hargomulyo dan Desa Tegalrejo. Berdasarkan deskripsi lapangan, Memiliki warna lapuk abu-abu, warna segar abu-abu muda, ukuran butir *very fine sand* (1/16 mm), tidak karbonatan, kompak, derajat pemilahan *very well sorted*, dengan kemas tertutup, kebundaran *very rounded*, memiliki struktur masif. (Gambar 5). Dari hasil pengamatan lapangan, lingkungan pengendapan Formasi Kebobutak di daerah ini dapat diinterpretasikan sebagai sistem kipas bawah laut (*submarine fan*).



Gambar 5. a). Kenampakan Jarak Jauh Litologi batupasir yang tersingkap di Desa Hargomulyo; b). Kenampakan Jarak Dekat; c). Profil batupasir Formasi Kebobutak skala 1:25

Berdasarkan analisis petrografi sayatan tipis batuan sedimen silisiklastik dengan pembesaran 40x batupasir Formasi Kebobutak terdiri dari mineral kuarsa (B2), orthoklas (H3), semen berupa semen lempungan (D4), semen berupa semen lempungan (D4). Untuk penamaan batuan menggunakan klasifikasi batuan sedimen silisiklastik yaitu Pettijohn (1975). Penamaan ini melihat dari persentase nilai *Quartz* (35%), *Feldspar* (15%), dan *Litik Fragmen* (10%), sehingga didapat penamaan batuannya yaitu *Feldphatic Wacke*. (Gambar 6).

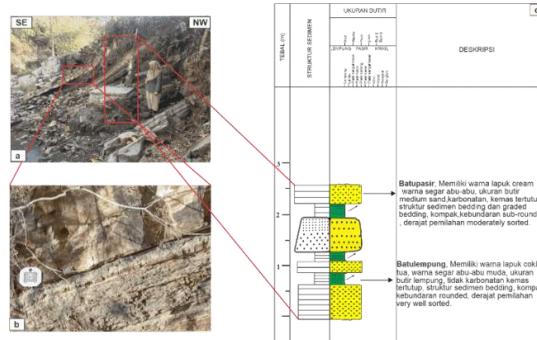


Gambar 6. Sayatan Tipis Batupasir Formasi Kebobutak (Tomk) dengan pembesaran 40x

3.2.1.2 Perselingan Batupasir dan Batulempung Formasi Kebobutak (Tomk)

Satuan batupasir dan batulempung Formasi Kebobutak umumnya ditemukan di sekitar Desa Hargomulyo, Desa Mertelu, dan Desa Tegalrejo. Berdasarkan deskripsi lapangan, perselingan batupasir dengan batulempung memiliki ketebalan 2,3 m - 4,1 m. Batupasir memiliki warna segar cream, warna lapuk abu abu muda, ukuran butir *fine-medium* (1/4-1/2 mm), tidak karbonatan, bersifat kompak, pembundaran *rounded*, derajat pemilahan *well sorted*, kemas tertutup. Sedangkan, batulempung memiliki warna segar abu-abu muda, warna lapuk coklat tua, ukuran butir lempung (1/256mm), tidak

karbonatan, tidak kompak, kemas tertutup, pembundaran *rounded*, derajat pemilahan *very well sorted* (Gambar 5).



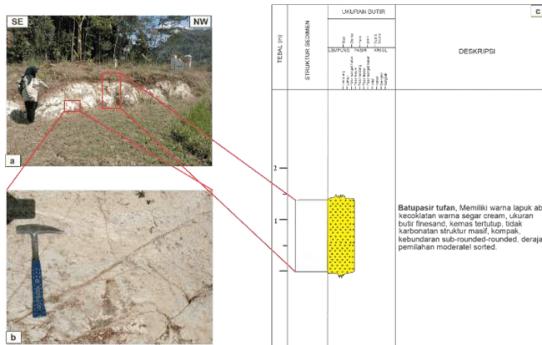
Gambar 5. a). Kenampakan Jarak Jauh Perselingan batupasir dengan batulempung yang tersingkap di Desa Hargomulyo; b). Kenampakan Jarak Dekat; c). Profil Batupasir dan Batulempung Formasi Kebobutak skala 1:25

3.2.2 Formasi Semilir (Tms)

Formasi Semilir secara stratigrafi terendapkan selaras di bawah Formasi Kebobutak pada kala Miosen Awal. Formasi ini mendominasi pada daerah penelitian dan mencakup sekitar 31% dari luas daerah penelitian. Formasi ini tersingkap di sejumlah lokasi seperti Desa Ngalang, Pilangrejo, dan Natah. Pola penyebarannya berarah Timur Laut – Barat Daya (NE – SW). Formasi Semilir membentuk morfologi Perbukitan Tinggi dan Perbukitan dengan elevasi 300 – 650 mdpl.

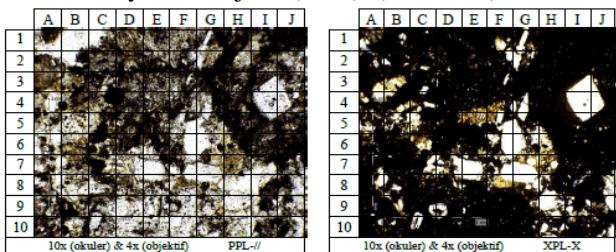
3.2.2.1 Satuan Batupasir Tufan Formasi Semilir (Tms)

Satuan batupasir Formasi Semilir (Tms) tersingkap di sekitar Desa Ngalang dengan ketebalan 1,4–3,6 m. . Memiliki warna segar krem, warna lapuk coklat, ukuran butir medium sand (1/4-1/2 mm), pembundaran sub rounded-rounded, tidak karbonatan, kompak, derajat pemilahan *very well sorted*, kemas tertutup, permeabilitas sedang.(Gambar 7). Dari hasil pengamatan lapangan, lingkungan pengendapan Formasi Semilir di daerah ini dapat diinterpretasikan sebagai sistem kipas bawah laut (*submarine fan*).



Gambar 7. a). Kenampakan Jarak Jauh Litologi Batupasir Tufan Formasi Semilir (Tms) yang Tersingkap di Desa Ngalang; b). Kenampakan Jarak Dekat; c). Profil Batupasir Tufan Formasi Semilir (Tms) skala 1:25

Berdasarkan analisa petrografi sayatan tipis batuan sedimen silisiklastik dengan pembesaran 40x batupasir tufan Formasi Semilir terdiri dari mineral primer kuarsa (F7), plagioklas (C3), biotit (F5), litik (D6) dan opaq (I8), dengan matriks berupa gelas (C5) dan semen berupa clay mineral (C4) dan silika (H8), sehingga didapat penamaan batuannya yaitu Tuffaceous *Feldphatic Wacke*. Untuk penamaan batuan menggunakan klasifikasi batuan sedimen silisiklastik yaitu Pettijohn (1975). (Gambar 8).



Gambar 8. Sayatan Tipis Batupasir Formasi Semilir (Tms) dengan pembesaran 40x

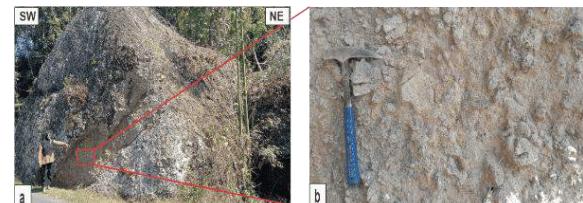
3.2.3 Formasi Nglanggran (Tmng)

Secara stratigrafi regional, Formasi Nglanggran secara selaras di bawah Semilir (Tms) pada kala Miosen Awal (Surono, dkk., 1992). Formasi ini menempati sekitar 21% dari total luas daerah penelitian. Formasi ini tersingkap pada Desa Natah, Pengkol dan Ngalang. Formasi ini membentuk pola morfologi berupa Perbukitan dengan elevasi 300 – 500 mdpl. Satuan batuannya tersusun atas satuan Breksi dan Tuf.

3.2.3.1 Satuan Breksi Nglanggran (Tmng)

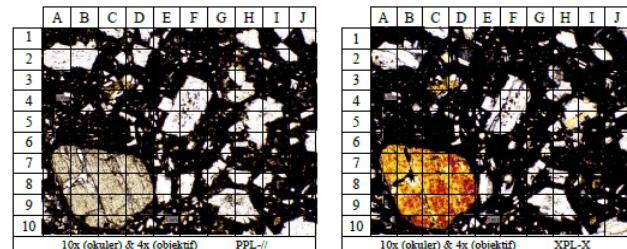
Satuan Breksi umumnya tersingkap pada Desa Pengkol dan Ngalang. Berdasarkan deskripsi lapangan,

Breksi memiliki ketebalan 30 cm – 3,2 m, warna segar abu-abu, warna lapuk hitam, besar butir berukuran cobble-boulder (64-256 mm) tidak kerbonatan, kompak, pembundaran sub rounded-rounded, kemas terbuka, struktur masif, derajat pemilahan poorly sorted. (Gambar 9).



Gambar 9. a). Kenampakan Jarak Jauh Litologi Breksi Formasi Nglanggran (Tmng) yang Tersingkap di Desa Ngalang pada; b). Kenampakan Jarak Dekat

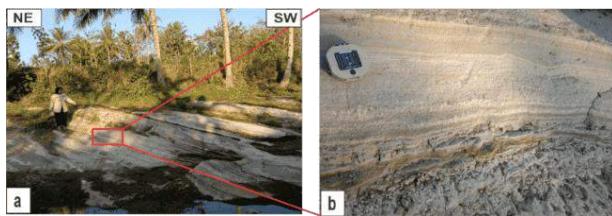
Berdasarkan analisis petrografi sayatan tipis batuan beku ekstrusif dengan pembesaran 40x breksi Formasi Nglanggran terdiri dari mineral primer kuarsa (H1), plagioklas (F5), orthoklas (H3), hornblende (A6), dengan tambahan mineral sekunder berupa clinozoisite (G6) serta masa dasar berupa gelas (E6) dan mikroplagioklas (G5), sehingga didapat penamaan batuannya yaitu Breksi Fragmen Andesit. Untuk penamaan batuan menggunakan klasifikasi beku ekstrusif yaitu IUGS (1978). (Gambar 10).



Gambar 10. Sayatan Tipis Breksi Formasi Nglanggran (Tmng) dengan pembesaran 40x

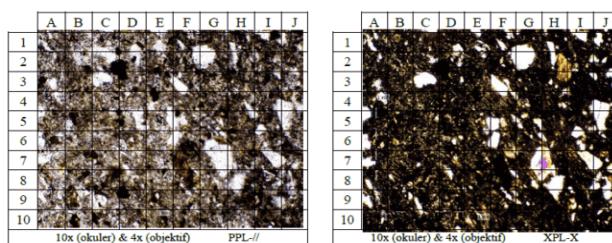
3.2.3.2 Satuan Tuf Nglanggran (Tmng)

Satuan Tuf umumnya tersingkap pada Desa Natah. Berdasarkan deskripsi lapangan, Tuf memiliki ketebalan 70 cm – 1,6 m, warna segar abu-abu tua, warna lapuk abu-abu muda, ukuran butir ash, tidak karbonatan, bersifat kompak, pembundaran rounded, derajat pemilahan well sorted, komposisi material piroklastik. (Gambar 11).



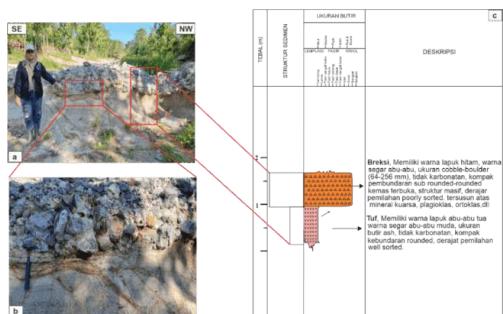
Gambar 11. a). Kenampakan Jarak Jauh Litologi Tuf (Tmng) yang Tersingkap di Desa Penkol dan b). Kenampakan Jarak Dekat

Berdasarkan analisa petrografi sayatan tipis batuan batuan volkaniklastik dengan pembesaran 40x tuf Formasi Nglanggran memiliki kandungan kuarsa (G2), plagioklas (H6), zirkon (I4), opak (D2), gelas (G9) dan memiliki *accidenta* litik (C5), sehingga didapat penamaan batuannya yaitu *Crystal Tuff*. Untuk penamaan batuan menggunakan klasifikasi batuan volkaniklastik yaitu Cook (1965). (Gambar 12).



Gambar 12. Sayatan Tipis Tuf Formasi Nglanggran (Tmng) dengan pembesaran 40x

Formasi Nglanggran tersusun atas dua litologi utama, yaitu breksi dan tuf. Breksi mengandung fragmen andesit berukuran *cobble* hingga *boulder* yang terikat dalam matriks tuf yang memiliki ukuran ash menunjukkan struktur masif. Bentuk fragmen yang pejal dan angular (bersudut tajam) mengindikasikan bahwa material tidak mengalami transportasi jauh dari sumber asalnya, dan masih mempertahankan bentuk aslinya. (Gambar 13).



Gambar 13. a). Kenampakan Jarak Jauh Kontak Breksi dan Tuf Formasi Nglanggran (Tmng) yang Tersingkap di Desa

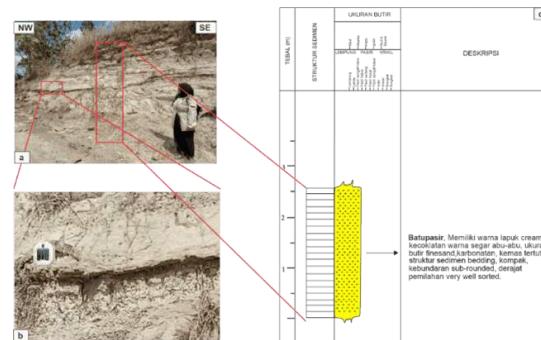
Pengkol; b). Kenampakan Jarak Dekat; c). Profil Kontak Breksi dan Tuf Formasi Nglanggran (Tmng) skala 1:25

3.2.4 Formasi Sambipitu (Tmss)

Secara stratigrafi regional, Formasi Sambipitu terendapkan secara selaras di bawah Formasi Nglanggran (Tmng) pada kala Miosen Awal. Formasi ini menempati sekitar 20% dari total luas daerah penelitian. Formasi ini tersingkap pada Desa Kedungpoh dan Desa Katongan. Persebaran batuannya berada pada Barat Laut hingga Utara daerah penelitian. Formasi ini membentuk morfologi Perbukitan rendah dan Perbukitan pada elevasi 150 – 200 mdpl.

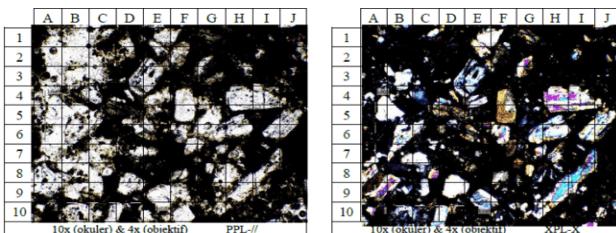
3.2.4.1 Satuan Batupasir Formasi Sambipitu (Tmss)

Satuan Batupasir Formasi Sambipitu (Tmss) umumnya tersingkap di sekitar Desa Kedungpoh dan Katongan, memperlihatkan ketebalan lapisan yang bervariasi antara 60 cm hingga 2,8 m. warna segar abu-abu muda, warna lapuk krem kecoklatan, ukuran butir, very fine sand, karbonatan, pembundaran rounded, derajat pemilahan very well sorted, kemas tertutup.



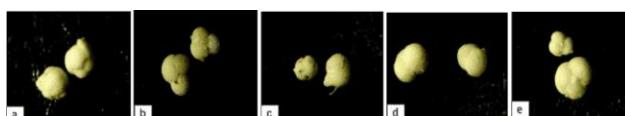
Gambar 14. a). Kenampakan Jarak Jauh Litologi Batupasir Formasi Sambipitu (Tmss) yang tersingkap di Desa Kedungpoh; b). Kenampakan Jarak Dekat; c). Profil Litologi Batupasir skala 1:25

Berdasarkan analisis petrografi sayatan tipis batuan sedimen silisiklastik dengan pembesaran 40x batupasir, terdiri dari mineral kuarsa (B2), ortoklas (D5), opak (C1), litik sedimen (E6), matriks berupa matriks lempung (D7), dan semen berupa kalsit (H4) dan silika (G3), sehingga didapat penamaan batuannya yaitu *Calcareous Lithic Wacke*. Untuk penamaan batuan menggunakan klasifikasi batuan silisiklastik yaitu Pettijohn (1975). (Gambar 15)



Gambar 15. Sayatan Tipis Batupasir Formasi Sambipitu (Tmss) dengan pembesaran 40x

Pengamatan mikropaleontologi dilakukan untuk menentukan umur relatif dari formasi serta lingkungan bathimetri. Analisis dilakukan dengan mengambil contoh sampel batupasir di Desa Kedungpoh. Berdasarkan hasil analisis didapatkan lima spesies fosil foraminifera planktonik dan lima spesies fosil foraminifera planktonik. Fosil planktonik terdiri atas *Catapsydrax dissimilis*, *Globigerina leroy*, *Globigerinoides trilobus*, *Orbulina bilobata*, *Sphaerodinella subdehiscens* (Gambar 16 dan Tabel 1). Dari hasil penarikan umur relatif didapatkan umur Formasi Sambipitu ialah *Early Miocene* (N6-N8).

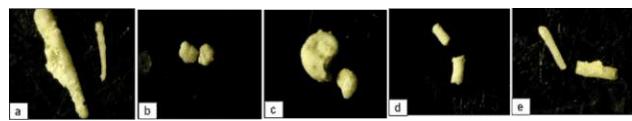


Gambar 16. Foraminifera Planktonik : a) *Catapsydrax dissimilis* ; b) *Globigerina Leroy* ; c) *Globigerinoides trilobus* ; d) *Orbulina bilobata* ; e) *Sphaerodinella subdehiscens*

Tabel 1. Penarikan Umur Relatif pada sampel Batupasir Formasi Sambipitu

UMUR	EOCENE				OLIGOCENE				MIOCENE				PLIOCENE				PLIOTOCENE			
	middle	late	early-middle	late	early	middle	late	early	middle	late	early	middle	late	early	middle	late	early	middle	late	early
Foraminifera Planktonik	T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1. <i>Catapsydrax dissimilis</i>	(A)																			
2. <i>Globigerina leroy</i>	(A)																			
3. <i>Globigerinoides trilobus</i>	(A)																			
4. <i>Orbulina bilobata</i>	(C)																			
5. <i>Sphaerodinella subdehiscens</i>	(R)																			

Fosil bentos pada batupasir Formasi Sambipitu yang ditemukan berupa *Pseudoclavulina humilis*, *Trochammina nitida*, *Bolivinella elegans*, *Tubinella finalis*, dan *Tubinella inornata* (Gambar 17 dan Tabel 2). Hasil dari analisis didapatkan bahwa lingkungan batimetri Formasi Sambipitu daerah penelitian yaitu Neritik Tengah – Luar.



Gambar 17. Foraminifera Bentonik : a) *Pseudoclavulina humilis* ; b) *Trochammina nitida* ; c) *Bolivinella elegans* ; d) *Tubinella finalis* ; e) *Tubinella inornata*

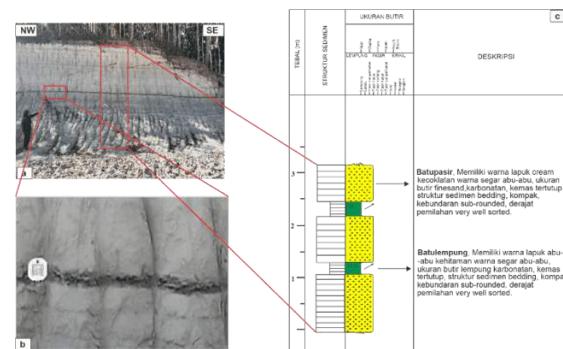
Tabel 2 Penarikan Lingkungan Batimetri pada sampel Batupasir Formasi Sambipitu

Lingkungan Batimetri	Transisi	Neritik				Batial		Abisal
		Tepi	Tengah	Luar	Atas	Bawah		
Foraminifera Bentonik	0	20	100	200	500	2000	4000	
1. <i>Pseudoclavulina humilis</i> (85-100 ft)	(C)			••				
2. <i>Trochammina nitida</i> (100-150 ft)	(A)		•					
3. <i>Bolivinella elegans</i> (115 ft)	(A)			•				
4. <i>Tubinella finalis</i> (20-60 ft)	(R)	•	•	•				
5. <i>Tubinella inornata</i> (20-60 ft)	(R)	•	•	•				

Barker, 1960

3.2.4.2 Satuan Batulempung Formasi Sambipitu

Satuan Batulempung Formasi Sambipitu (Tmss) umumnya tersingkap pada Desa Kedungpoh. Berdasarkan deskripsi lapangan, Batulempung Formasi Sambipitu (Tmss) memiliki ketebalan 20 cm – 1,1 m, warna segar abu-abu, warna lapuk abu-abu kehitaman, ukuran butir lempung (1/256mm), tidak karbonatan, tidak kompak, pembundaran rounded, derajat pemilahan very well sorted, kemas tertutup, struktur masif, permeabilitas dan porositas buruk, struktur sedimen massif. (Gambar 18).



Gambar 18. a). Kenampakan Jarak Jauh Litologi Batulempung yang tersingkap di Desa; b). Kenampakan Jarak Dekat; c). Profil Litologi Batulempung skala 1:25

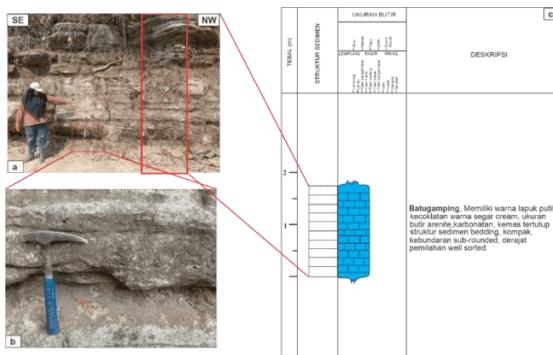
3.2.5 Formasi Oyo (Tmo)

Secara stratigrafi regional, Formasi Oyo terendapkan secara selaras di bawah Formasi Sambipitu (Tmo) pada kala Miosen Tengah – Miosen Akhir. Formasi ini menempati sekitar 33% dari total luas daerah penelitian.

Formasi ini tersingkap pada Desa Nglipar. Persebaran batuannya berada pada Timur Laut hingga Barat Daya daerah penelitian. Formasi ini membentuk morfologi Perbukitan rendah dan Perbukitan pada elevasi 150 – 200 mdpl.

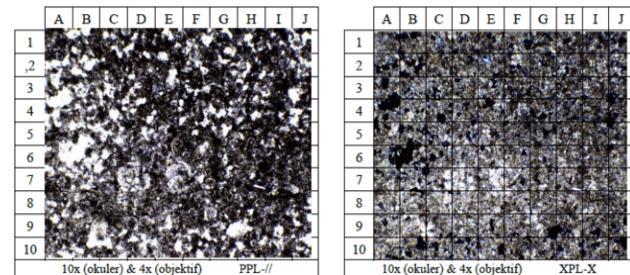
3.2.5.1 Satuan Batugamping Formasi Oyo (Tmo)

Satuan Batupasir Formasi Oyo (Tmo) umumnya tersingkap di sekitar Desa Nglipar, memperlihatkan ketebalan lapisan yang bervariasi antara 20 cm hingga 3,5 m. Memiliki warna lapuk putih kecoklatan, warna segar cream, ukuran butir kalkarenit (*medium sand*), karbonatan, kompak, kemas tertutup, kebundaran *sub-rounded*, derajat pemilahan *well sorted*. Struktur sedimen yang umum ditemukan adalah bedding dan masif. (Gambar 19).



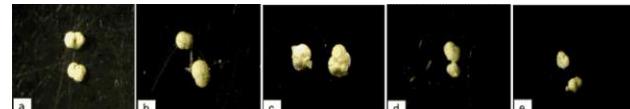
Gambar 19. a). Kenampakan Jarak Jauh Litologi Batugamping Formasi Oyo (Tmo) yang tersingkap di Desa Nglipar; b). Kenampakan Jarak; c). Profil Litologi Batugamping skala 1:25

Berdasarkan analisis petrografi sayatan tipis batuan sedimen karbonat dengan pembesaran 40x batugamping Formasi Oyo terdiri dari *skeletal grain* (F6), kuarsa (G10), memiliki matriks berupa *micrite* (D6), dan semen berupa *sparite* (E4) dan mineral oksida (G6), sehingga didapat penamaan batuannya yaitu *Packed Biomicrite Packstone*. Untuk penamaan batuan menggunakan klasifikasi batuan sedimen karbonat yaitu Folk (1962), Dunham (1962); Embry & Klovan (1971). (Gambar 20).



Gambar 20. Sayatan Tipis Batugamping Formasi Oyo (Tmo) dengan pembesaran 40x

Pengamatan mikropaleontologi dilakukan untuk menentukan umur relatif dari formasi serta lingkungan bathimetrianya. Berdasarkan hasil analisis didapatkan lima spesies fosil foraminifera planktonik dan lima spesies fosil foraminifera planktonik. Fosil planktonik terdiri atas *Globigerinoides sacculiferus*, *Globigerina diminutus*, *Globorotalia menardi*, *Globigerina praebuloides*, *Globigerinoides trilobus* (Gambar 21 dan Tabel 3). Dari hasil penarikan umur relatif didapatkan umur Formasi Sambipitu ialah *Middle - Late Miocene* (N13-N18).



Gambar 21. Foraminifera Planktonik : a) *Globigerinoides sacculiferus* ; b) *Globigerina diminutus*; c) *Globorotalia menardi* ; d) *Globigerina praebuloides* ; e) *Globigerinoides trilobus*

Tabel 3. Penarikan Umur Relatif pada sampel Batugamping Formasi Oyo

UMUR	EOCENE			OLIGOCENE			MIOCENE			PLIOCENE			PLIOTOCENE Holocene		
	middle	late	early	middle	late	early	early	middle	late	middle	late	middle	late	h	modern
Foraminifera Planktonik															
1 <i>Globigerinoides sacculiferus</i>	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	(I)	(J)	(K)	(L)	(M)	(N)	(O)
2 <i>Globigerina diminutus</i>	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	(I)	(J)	(K)	(L)	(M)	(N)	(O)
3 <i>Globorotalia menardi</i>	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	(I)	(J)	(K)	(L)	(M)	(N)	(O)
4 <i>Globigerina praebuloides</i>	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	(I)	(J)	(K)	(L)	(M)	(N)	(O)	(P)	(Q)
5 <i>Globigerinoides trilobus</i>	(R)														

Fosil bentos pada batupasir Formasi Oyo yang ditemukan berupa *Nummoloculina contraria*, *Haplophragmoides canariensis*, *Orthomorpina ambigua*, *Tubinella finalis*, dan *Cassidulinoides parkerianus* (Gambar 22 dan Tabel 4). Hasil dari analisis didapatkan bahwa lingkungan batimetri Formasi Oyo daerah penelitian yaitu Neritik Tengah – Luar.



Gambar 22. Foraminifera Bentonik : a) *Nummuloculina contraria*; b) *Haplophragmoides canariensis*; c) *Orthomorpina ambigua*; d) *Tubinella funalis*; e) *Cassidulinoides parkerianus*

Tabel 4. Penarikan Lingkungan Batimetri pada sampel Batugamping Formasi Oyo

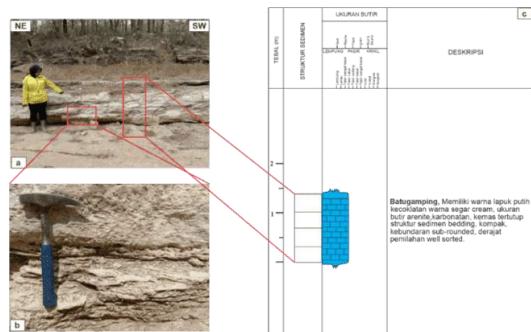
Lingkungan Batimetri	Transisi		Neritik		Batial		Abisal
	Tepi	Tengah	100	200	500	2000	4000
Foraminifera Bentonik							
1 Nummuloculina contraria (70-100 ft) [A]			→	→			
2 Haplophragmoides canariensis (100-150 ft) [A]			→	→			
3 Orthomorpina ambigua (125 ft) [R]				→			
4 Tubinella funalis (20-60 ft) [C]	→	→	→				
5 Cassidulinoides parkerianus (175 ft) [R]					•		
Barker, 1960							

3.2.6 Formasi Wonosari (Tmwl)

Secara stratigrafi regional, Formasi Wonosari terendapkan secara menjari dengan Formasi Oyo (Tmo) pada kala Miosen Tengah – Miosen Akhir. Formasi ini menempati sekitar 5% dari total luas daerah penelitian. Formasi ini tersingkap pada Desa Kedungkeris, Gari, dan Gading. Persebaran batuannya berada pada Timur Laut hingga Barat Daya daerah penelitian. Formasi ini membentuk morfologi Perbukitan rendah pada elevasi 150 mdpl.

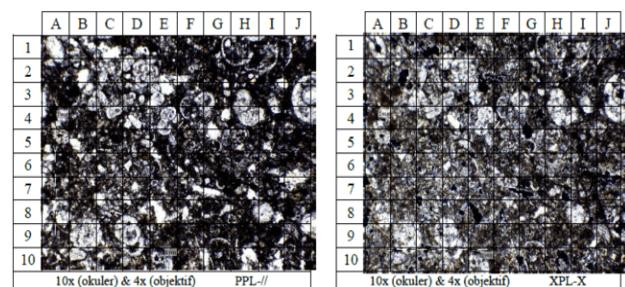
3.2.6.1 Satuan Batugamping Formasi Wonosari (Tmwl)

Satuan Batugamping Formasi Wonosari (Tmo) umumnya tersingkap di sekitar Desa Kedungkeris, Gari, dan Gading, memperlihatkan ketebalan lapisan yang bervariasi antara 50 cm hingga 2,2 m. Memiliki warna lapuk putih kecoklatan, warna segar cream, ukuran butir kalkarenit (*medium sand*), karbonatan, kompak, kemas tertutup, kebundaran *sub-rounded*, derajat pemilahan *well sorted* Struktur sedimen yang umum ditemukan adalah bedding dan masif. (Gambar 23).



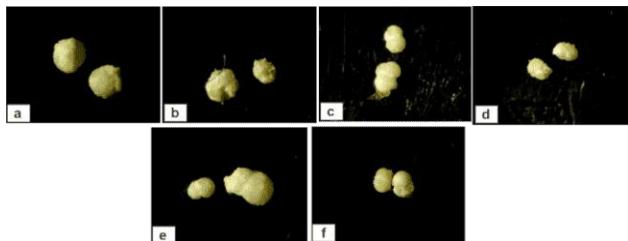
Gambar 23. a). Kenampakan Jarak Jauh Litologi Batugamping Formasi Wonosari (Tmwl) yang tersingkap di Desa Gading; b). Kenampakan Jarak Dekat; c). Profil Litologi Batugampig skala 1:25

Berdasarkan analisis petrografi sayatan tipis batuan sedimen karbonat dengan pembesaran 40x batugamping Formasi Wonosari terdiri dari *skeletal grain* (B4), *micrite* (F6), dan semen *sparite* (C2), sehingga didapat penamaan batuannya yaitu *Sparse Bio-micrite Packestone*. Untuk penamaan batuan menggunakan klasifikasi batuan sedimen karbonat yaitu Folk (1962), Dunham (1962);Embry & Klovan (1971). (Gambar 24).



Gambar 24. Sayatan Tipis Batugamping Formasi Wonosari (Tmwl) dengan pembesaran 40x

Pengamatan mikropaleontologi dilakukan untuk menentukan umur relatif dari formasi serta lingkungan bathimetrinya. Berdasarkan hasil analisis didapatkan lima spesies fosil foraminifera planktonik dan lima spesies fosil foraminifera planktonik. Fosil planktonik terdiri atas *Orbulina Universa*, *Globorotalia scitula*, *Globigerina immaturus*, *Globorotalia siakensis*, *Globigerinoides mayeri*, *Globigerinoides sicanus* (Gambar 25 dan Tabel 5). Dari hasil penarikan umur relatif didapatkan umur Formasi Sambipitu ialah *Middle - Late Miocene* (N14-N16).



Gambar 25. Foraminifera Planktonik : a) *Orbulina Universa* ; b) *Globorotalia scitula* ; c) *Globigerina immaturus* ; d) *Globorotalia siakensis* ; e) *Globigerinoides mayeri* ; f) *Globigerinoides sicanus*

Tabel 5. Penarikan Umur Relatif pada sampel Batugamping Formasi Wonosari

Fosil bentos pada batupasir Formasi Wonosari yang ditemukan berupa *Tubinella finalis*, *Tubinella inornata*, *Pullenia subcarinata*, *Mississippina concentrica*, dan *Nummoloculina contraria* (Gambar 26 dan Tabel 6). Hasil dari analisis didapatkan bahwa lingkungan batimetri Formasi Wonosari daerah penelitian yaitu Neritik Tengah – Luar.

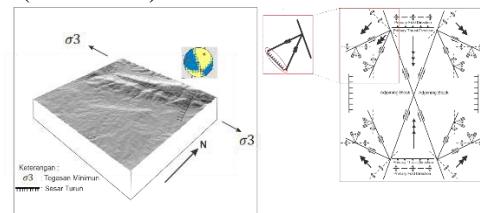


Gambar 26. Foraminifera Bentonik : a) *Tubinella funalis* ; b) *Tubinella inornata* ; c) *Pullenia subcarinata* ; d) *Mississippina concentrica* ; e) *Nummuloculina contraria*

Tabel 6. Penarikan Lingkungan Batimetri pada sampel Batugamping Formasi Wonosari

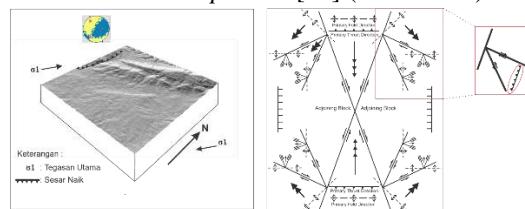
3.3 Struktur Geologi

Berdasarkan hasil analisis data lapangan dan dikombinasikan dengan data Digital Elevation Model Nasional (DEMNas), diperoleh dua struktur, antara lain Sesar Pilangrejo dan Sesar Pengkol. Pada kala Pliosen – Pleistosen terbentuk struktur geologi berupa Sesar Pilangrejo akibat tegasan kompresi yang berarah Utara – Selatan (σ_3). Berdasarkan teori Moody and Hill (1956), sesar ini berkembang sebagai struktur orde 2 dengan arah Barat Laut – Tenggara (NW–SE). Sesar tersebut diklasifikasikan sebagai Vertical Dip-Slip [7] dengan mekanisme pergerakan Right Normal Slip Fault [8], yaitu sesar turun dengan komponen pergeseran mendatar ke arah kanan. (Gambar 28).



Gambar 27. Model Mekanisme Struktur Sesar Pilangrejo pada Orde II [9]

Struktur-struktur yang ada pada daerah penelitian ini memiliki kaitan satu sama lain karena pada saat yang sama juga, yaitu kala Pliosen – Pleistosen terdapat Sesar Naik Pengkol. Setelah daerah ini terdeformasi secara ductile maka terjadi lagi kompresi dengan arah yang sama, yaitu Timur Laut (NE) – Barat Daya (SW). Struktur sesar ini memiliki berjenis *Vertical Dip Slip Fault* [8] dengan gerakan *Left Reverse Slip Fault* [18] (Gambar 29).



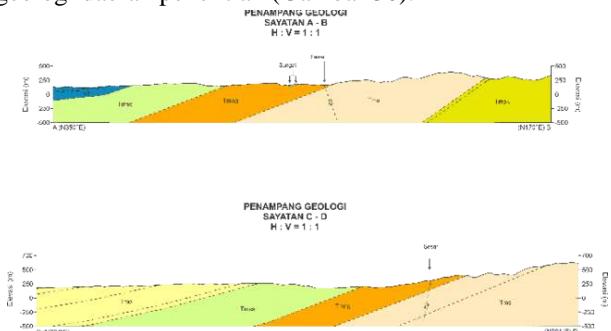
Gambar 28. Model Mekanisme Struktur Sesar Pengkol pada Orde II [9]

3.4 Interpretasi Bawah Permukaan

Penampang geologi daerah penelitian ini menggambarkan kondisi bawah permukaan berdasarkan dua penampang, yaitu penampang A-B dan penampang C-D, yang memperlihatkan urutan stratigrafi serta struktur geologi yang berkembang. Formasi tertua adalah Formasi

Kebobutak (Tomk), berumur Oligosen Akhir – Miosen Awal. Di bawahnya, secara selaras diendapkan Formasi Semilir (Tms) pada Miosen Awal dengan litologi utama berupa batupasir tufan. Selanjutnya, Formasi Nglanggran (Tmng) terendapkan di bawah Formasi Semilir secara selaras. Pada penampang, formasi ini tampak berada pada bagian tengah hingga kanan penampang. Formasi Sambipitu (Tmss) kemudian terendapkan secara selaras di bawah Formasi Nglanggran, yang tersusun atas batupasir dan batuempung. Selanjutnya, Formasi Oyo (Tmo) dengan litologi batugamping dan lanau, yang tampak menutupi bagian kiri penampang. Formasi termuda adalah Formasi Wonosari (Tmwl) yang menjari dengan Formasi Oyo (Tmo), dengan litologi utama berupa batugamping.

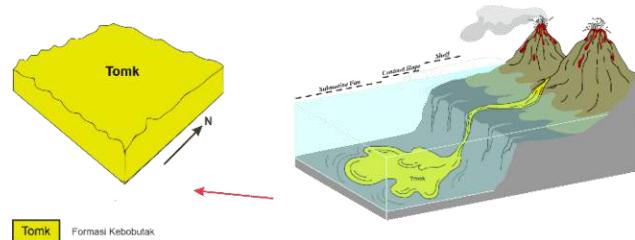
Keberadaan Sungai Juwet dan Sungai Plangrejo pada penampang yang mengalir di daerah penelitian juga berperan dalam morfologi daerah penelitian. Sungai ini dipengaruhi oleh dua struktur sesar yang ditemukan di daerah penelitian. Pada Kala Pliosen, ketika tegasan Timur Laut (NE) – Barat Daya (SW) terus berlangsung dan batuan tidak lagi mampu berdeformasi secara ductile, maka deformasi berubah menjadi brittle dan memicu terbentuknya sesar. Sesar Pilangrejo merupakan sesar turun dengan jenis Vertical Dip Slip Fault [7] dengan gerakan Right Normal Slip Fault [8]. Lalu, pada arah yang Barat Laut (NW) – Tenggara (SE) terbentuklah Sesar Pengkol. Sesar Pengkol memiliki jenis Vertical Dip Slip Fault [7] dengan gerak Left Reverse Slip Fault [8]. Pergerakan kedua sesar ini menyebabkan pergeseran signifikan pada Formasi Nglanggran dan Formasi Semilir, sehingga memengaruhi pola morfologi serta susunan batuan di daerah penelitian. Berikut gambaran kondisi bawah permukaan berdasarkan sayatan penampang geologi daerah penelitian (Gambar 30).



Gambar 29. Penampang Geologi Daerah Penelitian; a). Sayatan A-B; b). Sayatan C-D

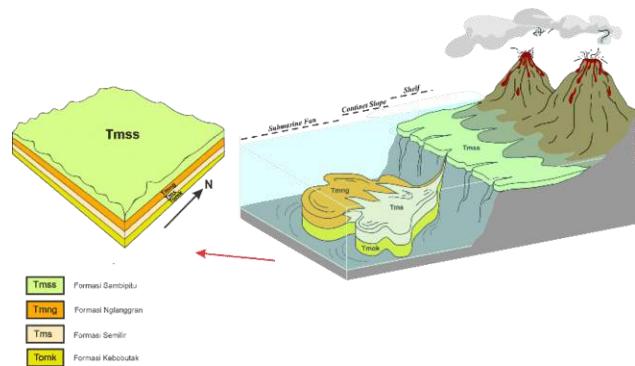
3.5 Sejarah Geologi

Pada Kala Oligosen Akhir hingga Miosen Awal, daerah Kedungpoh mulai mengalami sedimentasi awal berupa pengendapan batupasir dan batuempung dari Formasi Kebobutak. Endapan ini menutupi batuan dasar yang lebih tua dan menandai awal pembentukan Cekungan Wonosari akibat aktivitas tektonik ekstensional di selatan [10]. (Gambar 31).



Gambar 30. Ilustrasi Pengendapan Formasi Kebobutak (Tomk)

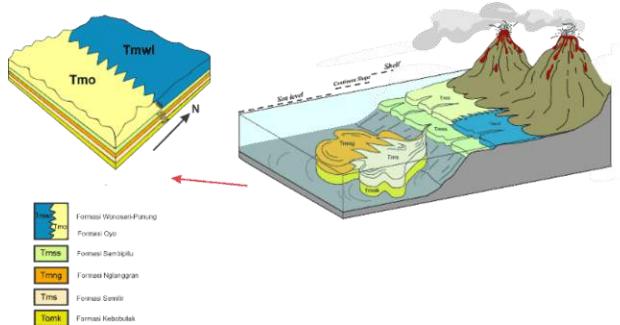
Selanjutnya, pada Kala Miosen Awal terjadi aktivitas vulkanik intens yang menghasilkan material tufan dan breksi vulkanik pembentuk Formasi Semilir dan Nglanggran. Kedua formasi ini mencerminkan fase dominasi vulkanik di lingkungan transisi darat-laut. Setelah itu, Formasi Sambipitu diendapkan secara selaras di atas Nglanggran dengan litologi batupasir halus dan batuempung karbonatan yang menunjukkan kondisi pengendapan lebih [11], [12]. (Gambar 32).



Gambar 31. Ilustrasi Pengendapan Formasi Semilir (Tms), Formasi Nglanggran (Tmng), dan Formasi Sambipitu (Tmss)

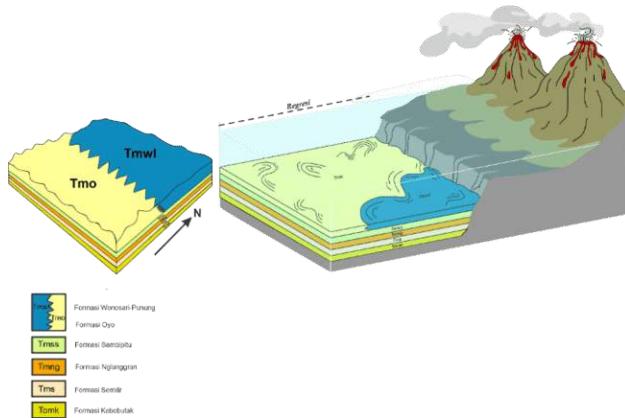
Pada Kala Miosen Tengah hingga Akhir, proses sedimentasi didominasi oleh endapan karbonat laut dangkal dari Formasi Oyo dan Formasi Wonosari. Kedua formasi ini terbentuk pada kondisi laut tenang dan stabil,

menandai fase pengendapan karbonat yang luas di Cekungan Wonosari [3].(Gambar 33).



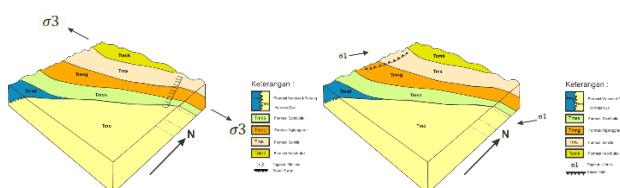
Gambar 32. Ilustrasi Pengendapan Formasi Oyo (Tmo) dan Formasi Wonosari (Tmwl)

Memasuki Kala Miosen Akhir hingga Pliosen Awal, aktivitas tektonik menyebabkan pengangkatan dan deformasi satuan batuan sedimen, sehingga lingkungan pengendapan berubah dari laut menjadi darat. Proses ini juga mengakhiri pengendapan karbonat dan menandai dimulainya fase tektonik aktif [13]. (Gambar 34).



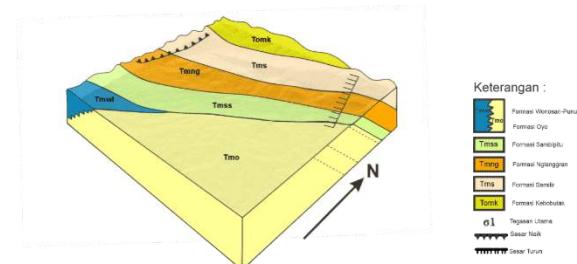
Gambar 33. Ilustrasi Kala Miosen Akhir – Pliosen

Pada Kala Pliosen hingga Pleistosen, deformasi berlanjut membentuk struktur sesar seperti Sesar Pilangrejo dan Sesar Pengkol akibat gaya kompresional dari arah selatan. Deformasi ini menghasilkan morfologi perbukitan yang kini mendominasi wilayah Kedungpoh [14](Gambar 35).



Gambar 34. Ilustrasi Pembentukan Struktur Sesar Pilangrejo dan Sesar Pengkol

Pada masa Resen hingga sekarang, aktivitas geologi relatif stabil dan didominasi oleh proses pelapukan serta erosi. Material hasil pelapukan batuan tua terangkat oleh aliran sungai dan mengisi lembah-lembah rendah di sekitar Kedungpoh. Proses geomorfik seperti denudasi, aliran permukaan, dan pembentukan dataran banjir masih berlangsung dan terus membentuk bentang alam daerah ini. (Gambar 36).



Gambar 35. Ilustrasi Kenampakan Daerah Penelitian pada Kala Resen

4 Kesimpulan

Daerah Kedungpoh dan sekitarnya secara fisiografis termasuk dalam Cekungan Wonosari yang merupakan bagian dari Zona Pegunungan Selatan Jawa. Berdasarkan hasil pemetaan, daerah penelitian tersusun atas tujuh satuan bentuk lahan yang mencakup perbukitan denudasional, perbukitan struktural, perbukitan vulkanik, dataran fluvial, serta lembah antar perbukitan. Secara stratigrafi, urutan batuan di daerah ini terdiri atas Formasi Kebobutak (Tomk) sebagai satuan tertua, kemudian berturut-turut di atasnya Formasi Semilir (Tms), Formasi Nglanggran (Tmng), Formasi Sambipitu (Tmss), Formasi Oyo (Tmo), dan Formasi Wonosari (Tmwl) sebagai satuan termuda.

Hubungan antarformasi bersifat selaras dan mencerminkan urutan pengendapan yang berlanjut dari batuan sedimen klastik ke batuan karbonat. Struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian berupa Sesar Pilangrejo dan Sesar Pengkol yang terbentuk akibat aktivitas tektonik kompresional berarah barat–timur pada kala Plio-Pleistosen. Berdasarkan hasil analisis geomorfologi, stratigrafi, dan struktur geologi, dapat disimpulkan bahwa evolusi geologi daerah Kedungpoh berkembang dari fase sedimentasi awal pada Oligosen Akhir, diikuti aktivitas vulkanik Miosen Awal, pengendapan karbonat pada Miosen Tengah–Akhir,

hingga mengalami pengangkatan dan deformasi tektonik pada kala Plio–Pleistosen yang membentuk morfologi perbukitan seperti kondisi saat ini.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyadari bahwa paper ini masih memiliki keterbatasan dan memerlukan penyempurnaan lebih lanjut. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi perbaikan penelitian ini ke depannya. Ucapan terima kasih disampaikan kepada koordinator Program Studi Teknik Geologi atas izin untuk mempublikasikan hasil pemetaan ini.

Daftar Pustaka

- [1] C. H.E, “Volcaniclastic Sediments and Rocks. Geological Society of America”, 1965.
- [2] G. Nichols, “Sedimentology and Stratigraphy”,, 2009..
- [3] S. Y. D. & W. D. Akhmad, “Mineralogical and geochemical characterization of the Wonosari formation limestone at Gunungkidul, Indonesia as preliminary investigation of Portland cement raw material”, 2023.
- [4] A. & P. M. Satyana, “Oligo–Miocene Carbonates in Java: Development, Setting, and Hydrocarbon Potential”, *PIT IAGI–HAGI*, 2003.
- [5] R. Compton, “Geology in the Field. New York: John Wiley & Sons”, 1985.
- [6] B. T. S. & A. S. Surono, “Peta Geologi Lembar Surakarta dan Sekitarnya, Jawa Tengah”, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1992.
- [7] H. Fossen, ” Structural Geology. Cambridge”, Cambridge University Press, 2010.
- [8] M. Rickard, ” Structural Geology of Folded Rocks”, Elsevier, 1972.
- [9] J. & H. M. Moody, ” Geological Society of America Bulletin,” pp. 67(9), 1207–1246,, 1956..
- [10] R. Hall, “Cenozoic tectonics of Indonesia and the Sunda–Banda arc”*Earth-Science Reviews*, vol. 196, pp. 1–32, 2019, 2019.
- [11] IAGI, “Formasi Semilir di Pegunungan Selatan Jawa”, dalam *Prosiding PIT IAGI*, Bali, 2007.
- [12] A. H. R. & H. D. Kusumastuti, “Stratigrafi dan Korelasi Formasi Nglanggran dan Sambipitu di Pegunungan Selatan, Jawa Tengah”, *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral.*, vol. 16(3), p. 145–156, 2015.
- [13] A. & P. M. Satyana, “Oligo–Miocene Carbonates in Java: Development, Setting, and Hydrocarbon Potential”, dalam *PIT IAGI–HAGI*, Bali, 2003..
- [14] A. & M. S. Pulunggono, “Tektonostratigrafi dan Evolusi Cekungan Jawa”, Bandung: ITB Press, 1994.
- [15] Dunham, R.J. “Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture.” AAPG Memoir, 1, 108–121, 1962
- [16] Huggett, R.J. “*Fundamentals of Geomorphology* (4th ed.)”. London: Routledge, 2017
- [17] IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. “*Classification of Igneous Rocks*”. International Union of Geological Sciences, 1978
- [18] Widijanto and B. Prasetyadi, “Sedimentology of the Nglipar Formation, Gunungkidul,” *Indonesian Journal of Geology*, vol. 15, no. 2, pp. 77–90, 2020
- [19] Widyatmanti et al.. “Identification of Topographic Elements Composition Based on Landform Boundaries From Radar Interferometry Segmentation, 8th IGRSM International Conference and Exhibition on Remote Sensing & GIS, p.5-6, 2016