

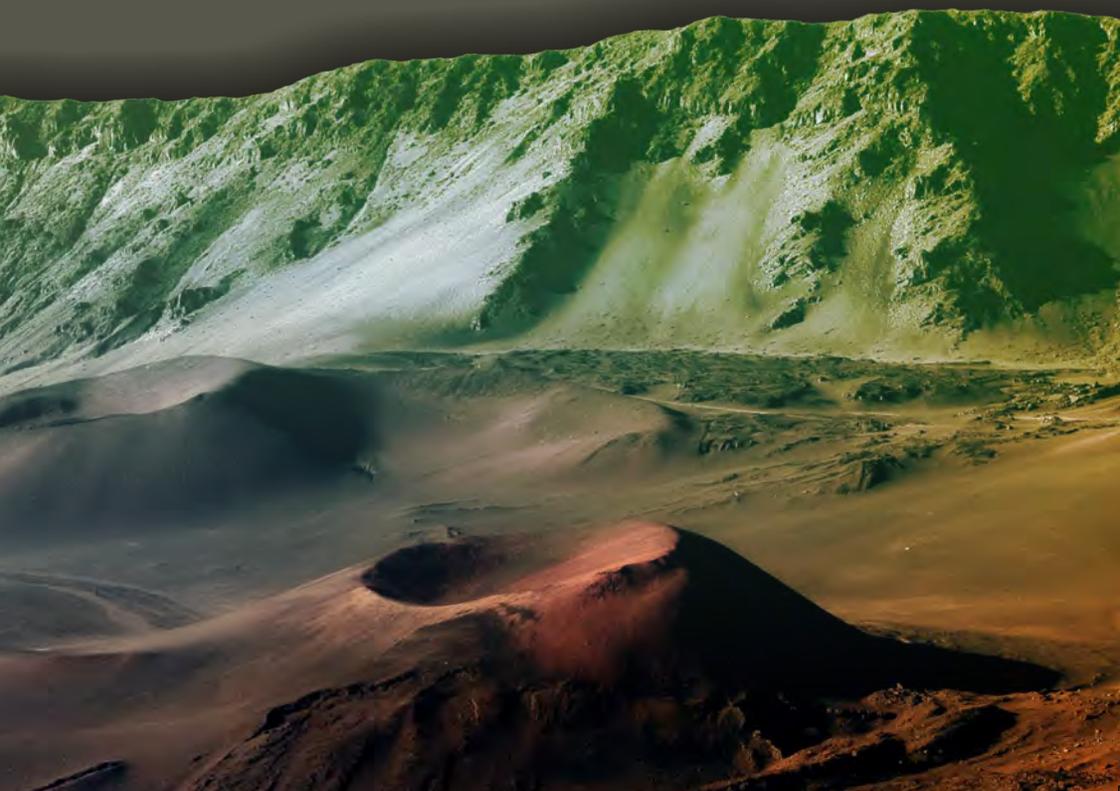


Syaiful Bachri

---

# Pengaruh Kegiatan **TEKTONIK & VULKANISME**

Terhadap Sedimentasi Endapan Paleogen-Neogen,  
di Cekungan Serayu, Jawa



Pengaruh Kegiatan  
**TEKTONIK &  
VULKANISME**

Terhadap Sedimentasi Endapan Paleogen-Neogen,  
di Cekungan Serayu, Jawa

Dilarang mereproduksi atau memperbanyak seluruh atau sebagian dari buku ini dalam bentuk atau cara apa pun tanpa izin tertulis dari penerbit.

© Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014

*All Rights Reserved*

**Pengaruh Kegiatan**

**TEKTONIK &  
VULKANISME**

**Terhadap Sedimentasi Endapan Paleogen-Neogen,  
di Cekungan Serayu, Jawa**

**Syaiful Bachri**

LIPI Press

© 2017 Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral  
Pusat Survei Geologi, Badan Geologi

Katalog dalam terbitan

Pengaruh Kegiatan Tektonik dan Vulkanisme Terhadap Sedimentasi Endapan Paleogen-Neogen, di Cekungan Serayu, Jawa/Syaiful Bachri. – Jakarta: LIPI Press, 2017.

xviii + 141 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-979-799-869-1

1. Tektonik

2. Vulkanisme

3. Sedimentasi

551.353

*Copy editor* : M. Kadapi dan Fadly Suhendra  
*Proofreader* : Martinus Helmiawan  
*Penata Isi* : Astuti Krisnawati dan Rahma Hilma Taslima  
*Desainer sampul* : Rusli Fazi  
  
*Cetakan pertama* : April 2017



Diterbitkan oleh:

LIPI Press, anggota Ikapi

Jln. Gondangdia Lama 39, Menteng, Jakarta 10350

Telp: (021) 314 0228, 314 6942. Faks.: (021) 314 4591

E-mail: [press@mail.lipi.go.id](mailto:press@mail.lipi.go.id)

Website: [lipipress.lipi.go.id](http://lipipress.lipi.go.id)

 LIPI Press

 @lipi\_press



Bekerja sama dengan:

Pusat Survei Geologi, Badan Geologi,

Kementerian ESDM

Jalan Diponegoro Nomor 57 Bandung

# DAFTAR ISI

<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>PENGANTAR PENERBIT</b> .....	xiii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xv
<b>PRAKATA</b> .....	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
A. Geologi Regional: Lokasi Daerah yang Dibahas .....	2
B. Pembahasan Buku Ini.....	7
<b>BAB II DATA LAPANGAN DAN LABORATORIUM</b> .....	11
A. Umur, Lingkungan Pengendapan, dan Arah Arus Purba. ....	11
1. Formasi Worawari.....	11
2. Formasi Merawu.....	14
3. Formasi Penyatan .....	18
4. Formasi Tapak .....	20
5. Formasi Kalibiuk .....	22
B. Pengukuran Stratigrafi dan Variabel Lapangan .....	24
1. Formasi Worawari.....	25
2. Anggota Batulumpur dari Formasi Merawu .....	25
3. Anggota Batupasir dari Formasi Merawu.....	30
4. Formasi Penyatan .....	31
5. Formasi Tapak dan Formasi Kalibiuk.....	35
C. Data Gaya Berat.....	38

D. Pemeriksaan Laboratorium .....	41
1. Pemeriksaan Paleontologi .....	41
2. Pemeriksaan Petrografi.....	47
<b>BAB III POPULASI, VARIABEL, DAN PENGUJIAN .....</b>	<b>51</b>
A. Populasi, Aneka Variabel, Kerangka Pemikiran, dan Kerangka Penalaran.....	51
1. Pembatasan Populasi .....	51
2. Peran Aneka Variabel.....	52
3. Kerangka Pemikiran .....	55
4. Kerangka Penalaran .....	58
B. Uji Statistik dan Hipotesis .....	60
1. Uji Persyaratan Analisis .....	60
2. Uji Beda .....	60
3. Korelasi dan Regresi Linier Sederhana.....	61
C. Pengujian Hipotesis .....	61
1. Contoh Pengujian Statistik.....	66
2. Contoh Pengujian Statistik Hipotesis 1 .....	67
3. Contoh Pengujian Statistik Hipotesis 5 .....	82
<b>BAB IV EVOLUSI CEKUNGAN SERAYU BERDASARKAN KOMBINASI DATA KUALITATIF DAN KUANTITATIF .....</b>	<b>99</b>
A. Batuan Asal dan Batuan Alas Cekungan Serayu.....	99
1. Batuan Asal.....	99
2. Batuan Alas ( <i>Basement Rock</i> ).....	101
B. Pengaruh Kegiatan Gunung Api .....	102
C. Pengaruh Kegiatan Tektonik.....	104
D. Pengaruh Energi Lingkungan Pengendapan.....	106
E. Sejarah Pengendapan dan Hubungannya dengan Tektonik dan Vulkanisme .....	113
1. Eosen Tengah–Oligosen Akhir .....	113
2. Miosen Awal–Miosen Tengah .....	116
3. Miosen Akhir–bagian bawah Pliosen Awal.....	118
4. Pliosen Awal–Pliosen Tengah Bagian Bawah .....	120
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>123</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>127</b>
<b>DAFTAR ISTILAH .....</b>	<b>131</b>
<b>INDEKS .....</b>	<b>135</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>	<b>141</b>

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Lokasi Daerah Penelitian.....	2
Gambar 1.2	Peta Lajur Tunjaman Indonesia bagian barat.....	4
Gambar 1.3	Pola Struktur di Jawa dan Sekitarnya.....	4
Gambar 1.4	Lajur Magmatik Paleogen-Neogen di Pulau Jawa.....	5
Gambar 2.1	Fosil Jejak Horizontal <i>Cosmoraphe</i> dari Kelompok Nereites pada Bagian Bawah Lapisan Batupasir Formasi Worawari di Lokasi Kali Tulis (07° 20' 43.8" LS, 109° 47' 13.5" BT).....	13
Gambar 2.2	Fosil Jejak <i>Paleodictyon</i> (Kelompok Nereit) di Bagian Bawah Sisipan Batupasir di Kali Tengah (07° 17' 34.6" LS, 109° 40' 10.9" BT).....	13
Gambar 2.3	Bongkah batugamping numulit terkungkung dalam batulempung di hulu Kali Worawari.....	14
Gambar 2.4	Struktur <i>Herring-Bone</i> Pada Lapisan Batupasir Anggota Batulumpur, Formasi Merawu di Kali Bulu.....	16
Gambar 2.5	Struktur Nendatan Pada Sisipan Batupasir Gampingan pada Anggota Batulumpur Formasi Merawu di Kali Tulis.....	16
Gambar 2.6	Fosil Jejak <i>Cruziana</i> pada Bagian Bawah Lapisan Batupasir Anggota Batulumpur dari Formasi Merawu	17
Gambar 2.7	Singkapan Formasi Penyatan di Kali Keang.....	19
Gambar 2.8	Struktur Perlapisan Konvolut pada Formasi Penyatan di Kali Keang.....	19

Gambar 2.9	Konglomerat dengan komponen napal dan matriks batulempung gampingan pada Formasi Tapak ini terletak di bawah jembatan Kali Karang, Desa Makam.....	21
Gambar 2.10	Endapan alur berupa batupasir kasar dengan pecahan-pecahan moluska pada Formasi Kalibiuk di Kali Karang .....	23
Gambar 2.11	Lokasi Lintasan Pengukuran Stratigrafi Terukur.....	24
Gambar 2.12	Penampang stratigrafi terukur dari Formasi Worawari di Kali Gebyugan dan Kali Worawari yang diduga secara tidak selaras ditumpangi oleh Formasi Merawu. Disederhanakan dari skala 1:100.....	26
Gambar 2.13	Penampang stratigrafi terukur Formasi Worawari dan Formasi Merawu di Kali Tulis. Disederhanakan dari skala 1:100.....	27
Gambar 2.14	Penampang stratigrafi terukur anggota batulumpur dari Formasi Merawu di Kali Bombong, Kali Tengah dan Kali Nyakalan. Bagian paling bawah penampang di Kali Nyakalan diduga merupakan bagian dari anggota batupasir dari Formasi Merawu. Disederhanakan dari skala 1:100 .....	28
Gambar 2.15	Penampang stratigrafi terukur anggota batupasir Formasi, Merawu di hulu Kali Merawu dan Bukit Karunglo. Disederhanakan dari penampang skala 1:100. ....	32
Gambar 2.16	Penampang stratigrafi terukur Formasi Penyatan di Kali Pulaga, disederhanakan dari penampang skala 1:100. ....	34
Gambar 2.17	Penampang terukur Formasi Tapak di Kali Tunggunggunung dan Kali Karang, disederhanakan dari penampang skala 1:100.....	37
Gambar 2.18	Penampang stratigrafi terukur Formasi Kalibiuk di Kali Muli dan Kali Karang, disederhanakan dari penampang skala 1:100.....	38
Gambar 2.19	Peta Gaya Berat Residual Daerah Banjarnegara .....	39
Gambar 2.20	Kontur kedalaman gaya berat di atas menggambarkan sebaran batuan alas granitan dan batuan sedimen penutup di daerah Banjarnegara.....	40
Gambar 2.21	Peta anomali residual (gaya berat) daerah Purbalingga	42
Gambar 3.1	Hubungan Kegiatan Tektonik dan Vulkanisme terhadap Karakteristik Sedimentologi.....	56

Gambar 4.1	Mikrofoto Batupasir <i>Litharenite</i> Formasi Worawari dari Kali Worawari.....	100
Gambar 4.2	Lokasi Zirkon Kapur dalam Formasi Worawari yang Terletak pada Ujung Tenggara Paparan Sunda .....	102
Gambar 4.4	Perkembangan Nilai Rasio Pasir/Lempung pada Anggota Batulumpur Formasi Merawu.....	111
Gambar 4.3	Perkembangan Nilai Rasio Pasir/Lempung (Rsc) pada Penampang Stratigrafi Formasi Worawari.....	111
Gambar 4.5	Perkembangan Nilai Rasio Pasir/Lempung pada Penampang Stratigrafi Formasi Penyatan di Kali Pulaga.....	112
Gambar 4.6a	Kedudukan Pulau Jawa dan Sekitarnya pada Oligosen Akhir .....	114
Gambar 4.6b	Kedudukan Pulau Jawa dan Sekitarnya pada Eosen Tengah .....	114
Gambar 4.7	Diagram paleogeografi Cekungan Serayu pada Paleogen (tidak menurut skala), sewaktu diendapkannya Formasi Worawari. ....	115
Gambar 4.8a	Kedudukan Pulau Jawa dan Sekitarnya pada Miosen Awal.....	117
Gambar 4.8b	Kedudukan Pulau Jawa dan Sekitarnya pada Miosen Tengah .....	117
Gambar 4.9	Diagram paleogeografi Cekungan Serayu pada Miosen Awal–Miosen Tengah (A), dan pada Miosen Akhir (B) (tidak menurut skala), sewaktu pengendapan Formasi Merawu (A) dan Formasi Penyatan (B).....	118
Gambar 4.10	Kedudukan Pulau Jawa pada Miosen Akhir .....	119
Gambar 4.11	Diagram paleogeografi Cekungan Serayu pada N19-N20 (Pliosen Awal–Pliosen Tengah bagian bawah) ditandai oleh pengendapan Formasi Tapak dan Formasi Kalibiuk selaras di atas Formasi Penyatan dan Batuan Gunungapi Kumbang.....	121



# DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Variabel Perlapisan pada Anggota Batulumpur, Formasi Merawu.....	29
Tabel 2.2	Variabel Perlapisan pada Anggota Batupasir, Formasi Merawu.....	33
Tabel 2.3	Data Variabel Perlapisan Formasi Penyatan .....	36
Tabel 2.4	Kandungan fosil foraminifera pada beberapa sampel dari anggota batulumpur dari Formasi Merawu.....	45
Tabel 2.5	Variabel penyusun asal vulkanik ( $R_v + G_v$ ) pada batupasir Formasi Worawari.....	48
Tabel 2.6	Variabel penyusun batuan asal vulkanik ( $R_v + G_v$ ) pada batupasir Formasi Merawu.....	49
Tabel 2.7	Variabel penyusun batuan asal vulkanik ( $R_v + G_v$ ) pada sampel batupasir Formasi Penyatan.....	49
Tabel 3.1	Populasi dalam penelitian .....	52
Tabel 3.2	Uji Statistik yang Digunakan dalam Pembahasan.....	62
Tabel 3.3	Nilai $ F(Z_i) - S(Z_i) $ fragmen batuan vulkanik Formasi Worawari.....	68
Tabel 3.4	Nilai $ F(Z_i) - S(Z_i) $ fragmen batuan vulkanik Formasi Merawu.....	69
Tabel 3.5	Nilai $ F(Z_i) - S(Z_i) $ gelas vulkanik Formasi Worawari...	70
Tabel 3.6	Nilai $ F(Z_i) - S(Z_i) $ gelas vulkanik Formasi Merawu.....	71
Tabel 3.7	Nilai $ F(Z_i) - S(Z_i) $ gelas vulkanik Formasi Worawari...	72
Tabel 3.8	Nilai $ F(Z_i) - S(Z_i) $ penyusun batuan asal vulkanik Formasi Merawu.....	73

Tabel 3.9	Tabel dan Diagram Pencar Hubungan antara Frekuensi Lapisan dengan Tebal Rata-Rata Lapisan (cm) pada Populasi Anggota Batulumpur, Formasi Merawu .....	83
Tabel 3.10	Hubungan Fungsional antara Frekuensi Lapisan dengan Tebal Rata-Rata Lapisan (cm) pada Anggota Batulumpur, Formasi Merawu.....	84
Tabel 3.11	Tabel dan Diagram Pencar Hubungan antara Frekuensi Lapisan dengan Tebal Rata-Rata Lapisan (cm) pada Anggota Batupasir, Formasi Merawu .....	86
Tabel 3.12	Hubungan Fungsional antara Frekuensi Lapisan dengan Tebal Rata-Rata Lapisan (cm) pada Anggota Batupasir, Formasi Merawu.....	87
Tabel 3.13	Diagram Pencar Hubungan antara Frekuensi Lapisan dengan Tebal Rata-Rata Lapisan (cm) pada Formasi Penyatan .....	89
Tabel 3.14	Hubungan Fungsional antara Frekuensi Lapisan dengan Tebal Rata-Rata Lapisan (cm) pada Formasi Penyatan..	90
Tabel 3.15	Hasil pengujian statistik terhadap hipotesis/subhipotesis.	93
Tabel 4.1	Jumlah variabel ( $R_v+G_v$ ) semakin meningkat ke arah populasi yang lebih muda, mulai dari Formasi Worawari hingga Formasi Penyatan.....	103
Tabel 4.2	Frekuensi Lapisan ( $F_p$ ) pada Populasi Formasi Merawu dan Populasi Formasi Penyatan.....	104
Tabel 4.3	Rata-rata tebal lapisan (cm) Formasi Penyatan lebih tipis dibandingkan Formasi Merawu.....	105
Tabel 4.4	Nilai Rata-Rata Rasio Pasir/Lempung ( $R_{sc}$ ) Anggota Batulumpur dan Anggota Batupasir dari Formasi Merawu, dan Formasi Penyatan .....	106
Tabel 4.5	Data Rasio Pasir/Lempung pada Formasi Worawari .....	107
Tabel 4.6	Data Rasio Pasir/Lempung pada Anggota Batulumpur dari Formasi Merawu .....	108
Tabel 4.7	Data rasio pasir/lempung pada Formasi Penyatan .....	109

# PENGANTAR PENERBIT

Sebagai penerbit ilmiah, LIPI Press mempunyai tanggung jawab untuk menyediakan terbitan yang berkualitas. Penyediaan terbitan ilmiah yang berkualitas adalah salah satu perwujudan tugas LIPI Press untuk ikut serta dalam mencerdaskan kehidupan bangsa sebagaimana yang diamanatkan dalam pembukaan UUD 1945.

Buku yang berjudul *Pengaruh Kegiatan Tektonik dan Vulkanisme Terhadap Sedimentasi Endapan Paleogen-Neogen, di Cekungan Serayu, Jawa* ini ditulis berdasarkan hasil disertasi dan beberapa karya tulis ilmiah selama penulis menjadi peneliti di Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementerian ESDM.

Terdapat beberapa pembahasan utama dalam buku ini, di antaranya perubahan nilai-nilai variabel karakteristik sedimentologi/fasies sedimen Paleogen-Neogen sebagai respons atas perubahan lingkungan pengendapan yang diakibatkan oleh kegiatan tektonik; perbedaan nilai-nilai variabel karakteristik fasies sedimen Paleogen-Neogen sebagai akibat perbedaan pengaruh kegiatan gunung api; korelasi antara variabel karakteristik sedimentologi penciri kegiatan gunung api terhadap variabel indikator intensitas kegiatan tektonik; Dan, korelasi atau hubungan antar beberapa variabel fasies sedimen tertentu akibat pengaruh kegiatan tektonik.

Semoga buku ini dapat memperkaya khazanah ilmu pengetahuan dalam bidang geologi dan menjadi referensi terpercaya bagi para peneliti, akademisi, mahasiswa, dan masyarakat yang berkepentingan lainnya. Tidak lupa kami ucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penerbitan buku ini.

LIPI Press

# KATA PENGANTAR

**B**uku ini disusun berdasarkan data primer yang diperoleh penulis sewaktu melakukan penelitian di Cekungan Serayu. Metode yang dilakukan oleh penulis utamanya adalah kuantitatif atau probabilistik yang menggunakan data terukur dari seluruh variable yang digunakan untuk melakukan verifikasi sehingga tidak ada keraguan dalam mengambil berbagai kesimpulan. Meskipun demikian, dalam tulisan ini digunakan juga data kualitatif untuk mendukung penafsiran geologi.

Cekungan Serayu adalah salah satu cekungan sedimen yang diperkenalkan oleh Badan Geologi (2009). Saya berterima kasih kepada penulis yang telah bekerja di daerah tersebut serta mempublikasikan hasil penelitiannya. Semoga publikasi ini dapat bermanfaat dalam menambah wawasan para peneliti dan praktisi, terutama yang berkecimpung dalam eksplorasi migas.

Penerbitan buku ini dilakukan melalui cara kerja sama antara Pusat Survei Geologi (Badan Geologi) dan LIPI Press (LIPI). Dengan harapan agar informasi yang terkandung di dalamnya dapat tersebar lebih luas ke para pengguna.

Akhirnya, diharapkan semoga buku ini dapat memicu para peneliti lainnya untuk bersama-sama mengembangkan ilmu geologi dengan melakukan penelitian dan mempublikasikannya.

Bandung, Oktober 2016

Kepala Pusat Survei Geologi,  
Dr. Ir. Muhammad Wafid AN, M.Sc.

# PRAKATA

**B**uku ini ditulis dengan sumber utama adalah disertasi penulis yang berjudul “Karakteristik Fasies Sedimen Paleogen–Neogen Cekungan Serayu Sebagai Respons Atas Kegiatan Tektonik dan Vulkanisme”. Di samping itu, penulis juga menambahkan hasil penelitian selama menjadi Koordinator Tim pada penelitian Dinamika Cekungan Serayu di Pusat Survei Geologi selama tiga tahun, dari 2006 sampai 2008. Tulisan-tulisan penulis di Jurnal Sumberdaya Geologi pada tahun 2006 sampai 2008 juga dirangkum menjadi satu sehingga menjadi buku ini.

Berdasarkan hal itu, buku ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang lebih bersifat pragmatis, misalnya studi mengenai sebaran satuan batuan sedimen yang berkomposisi utama batupasir yang mungkin dapat berfungsi sebagai batuan waduk (*reservoir rock*); sebaran batuan halus yang mungkin berfungsi sebagai batuan induk minyak dan gas bumi, sebaran batuan yang banyak mengandung lapisan batulempung yang rawan bencana tanah longsor; sebaran pusat pengendapan (*depocenter*) tempat dijumpainya batuan sedimen paling tebal yang mungkin mengandung sumber daya energi, dan masukan lainnya yang berhubungan dengan indikasi keberadaan sumber daya geologi.

Secara keilmuan, buku ini diharapkan dapat memberikan sumbangan terhadap pemahaman evolusi stratigrafi dan tektonik daerah tepian Paparan Sunda di bagian tenggara; memberikan sumbangan metode baru dalam analisis pengaruh tektonik dan kegiatan gunung api pada karakteristik batuan sedimen, dengan menggunakan variabel-variabel baru; serta memberikan sumbangan pemikiran mengenai evolusi Cekungan Paleogen–Neogen di bagian tengah Pegunungan Serayu Utara, atau juga disebut Cekungan Serayu (Anonim, 2009a). Selanjutnya, buku ini diharapkan dapat digunakan untuk memahami perkembangan geologi secara regional.

Pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih kepada kolega selama melakukan penelitian di Cekungan Serayu, antara lain kepada Prof. Dr. Ir. Surono, M.Sc.; Ir. Dwi Atmo Agustiyanto, M.Phil.; Ir. Torkis Sihombing, M.Si.; Edi Slameto, S.T., M.T., M.Sc.; Rakhmat Fakhruddin, S.T., M.T.; Indra Nurdiana, S.T., M.T.; Rachmat Yantono Saragih, S.T., Ir. Erwin H. Nugroho dan Ir. Rachmansyah. Tak lupa pula kami ucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. H. Febri Hirnawan, Prof. Dr. Ir. Adjat Sudradjat, M.Sc. serta Dr. Ir. Ildrem Syafri, DEA atas segala diskusi dan saran yang diberikan kepada penulis. Terima kasih dan penghargaan yang tinggi saya tujukan kepada Prof. Dr. Ir. Robert Delinom, M.Sc. dan Prof. Dr. Ir. Surono, M.Sc. atas koreksi dan masukan guna meningkatkan kualitas isi buku ini.

Bandung, Oktober 2016

Dr. Ir. Syaiful Bachri, M.Sc.

# BAB I

## PENDAHULUAN

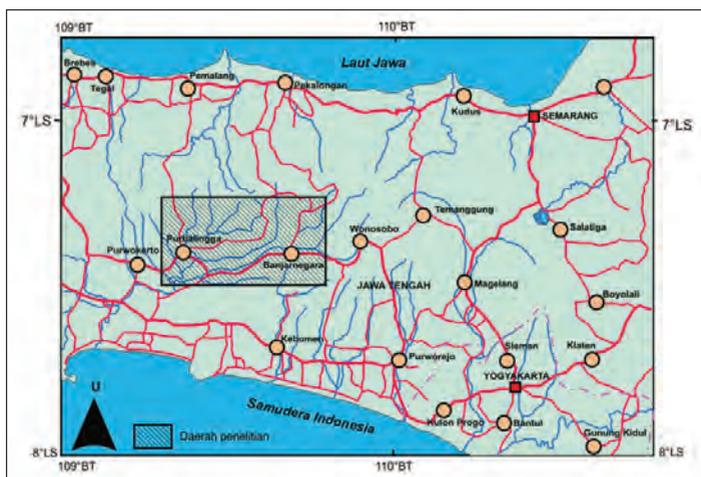
**D**i wilayah Indonesia, batuan gunung api dan sedimen asal gunung api dijumpai dengan sebaran yang sangat luas, baik di Indonesia bagian barat maupun Indonesia bagian timur. Salah satu permasalahan dalam batuan gunung api dan sedimen asal gunung api adalah jarang dijumpainya fosil indeks penunjuk umur dan lingkungan pengendapan. Hal tersebut mengakibatkan kesimpangsiuran dalam tata nama dan korelasi antar satuan batuan.

Dalam satu wilayah atau satu cekungan sedimen yang sama, tidak jarang dijumpai penamaan satuan batuan yang berbeda-beda. Bahkan dalam cekungan sedimen yang berbeda sering terjadi kesamaan penamaan satuan batuan atau formasi. Sebagai contoh, di wilayah Cekungan Serayu terjadi penamaan satuan batuan yang berbeda antara van Bemmelen (1949), Djuri (1975), dan Condon, Pardiyanto, dan Ketner (1975). Sebaliknya, pada cekungan sedimen yang berbeda dijumpai penamaan satuan batuan yang sama, misalnya Formasi Halang dan Formasi Rambatan dijumpai di Cekungan Banyumas (Asikin, Handoyo, Pratistho, & Gafoer, 1992), namun juga dijumpai di Cekungan Serayu (Djuri, 1975).

Berdasarkan permasalahan tersebut buku ini memperkenalkan sebuah metode penamaan dengan menggunakan data terukur berupa respons batuan sedimen terhadap kegiatan tektonik dan vulkanisme selama Paleogen-Neogen. Dengan menggunakan kesamaan data terukur tersebut maka satuan batuan dapat dikenali atau diklasifikasikan sebagai satuan yang sama. Selanjutnya, berdasarkan respons batuan sedimen atau sedimen asal gunung api terhadap kegiatan tektonik dan vulkanisme akan diketahui evolusi kegiatan tektonik dan vulkanisme selama Paleogen-Neogen.

## A. Geologi Regional: Lokasi Daerah yang Dibahas

Daerah yang dibahas sebagian besar terletak di daerah Kabupaten Banjarnegara dan Purbalingga, serta sebagian kecil di daerah Kabupaten Wonosobo dan Kabupaten Pemalang, Jawa Tengah yang termasuk ke dalam wilayah Cekungan Serayu (Anonim, 2009a), atau secara fisiografis terletak di bagian tengah Pegunungan Serayu Utara (van Bemmelen, 1949) (Gambar 1.1).



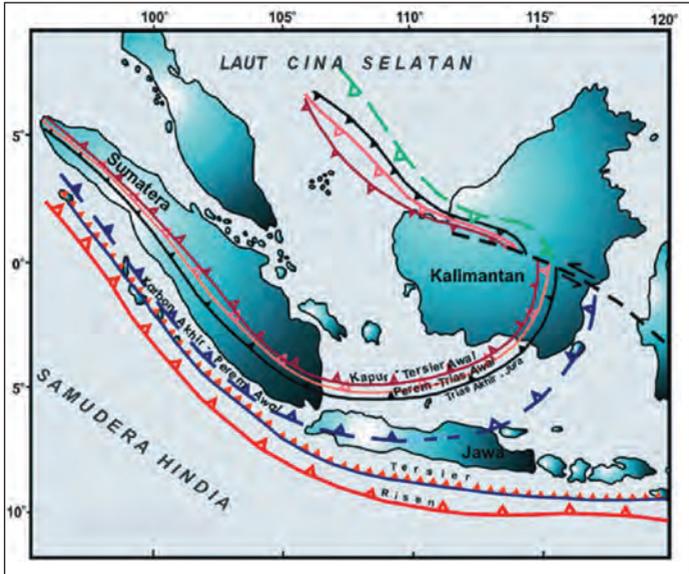
Sumber: Modifikasi dari Bachri dkk. (2006 & 2007)

**Gambar 1.1** Lokasi Daerah Penelitian

Bagian selatan daerah ini mempunyai morfologi relatif datar dan dikuasai oleh endapan muda berumur Kuartar, sedangkan bagian tengah pada umumnya bermorfologi bergelombang sampai perbukitan yang disusun oleh batuan Paleogen-Neogen yang dijumpai di lembah-lembah. Bagian atasnya ditempati oleh batuan gunung api Kuartar. Di lajur paling utara terdapat daerah perbukitan-pegunungan yang pada umumnya ditempati oleh batuan gunung api Kuartar sehingga sulit didapatkan singkapan batuan Paleogen-Neogen.

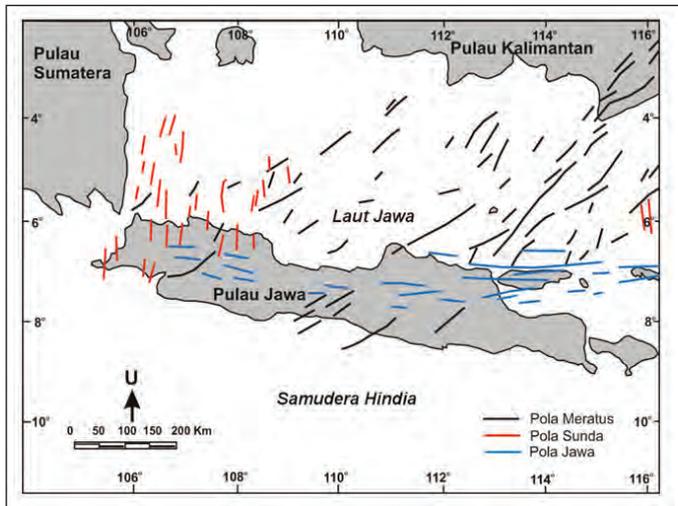
Daerah ini merupakan bagian dari Busur Sunda yang sangat dipengaruhi oleh kegiatan tektonik, sebagaimana ditunjukkan oleh keberadaan aktivitas lajur tunjaman Paleogen-Resen (Katili, 1989, Gambar 1.2) dan pembentukan struktur geologi yang masih aktif sampai sekarang (Pulunggono & Martodjojo, 1994, Gambar 1.3).

Di Jawa dan sekitarnya terdapat tiga pola struktur utama, dari tua ke muda, yaitu (1) Pola Meratus, (2) Pola Sunda, dan (3) Pola Jawa (Pulunggono & Martodjojo, 1994, Gambar 1.2). Berdasarkan studi paleomagnetik, Powell (1976) mengungkapkan bahwa sejak 130 juta tahun lalu (jtl) hingga sekarang, terdapat empat pola gerakan Lempeng Samudera Hindia yang memengaruhi pembentukan pola-pola struktur di Jawa dan sekitarnya. Pada tahap pertama (130–80 jtl, atau Kapur Awal–Kapur Akhir) terjadi pemisahan sub-Benua India dari Benua Antartika-Australia dengan kecepatan rendah (3,5–4,8 cm/tahun). Pada tahap kedua (80–53 jtl, atau Kapur Akhir–Eosen Awal) terjadi pemisahan Benua India dari Lempeng Antartika-Australia. Batas pemisahan ini berupa jalur pemekaran baru, dengan kecepatan gerakan lempeng 15–17,5 cm/tahun. Pada tahap ketiga (53–32 jtl atau Eosen Awal–Oligosen Awal) terjadi jalur pemekaran baru yang memindahkan Lempeng Antartika dan Australia ke utara, dengan kecepatan pemekaran rendah, yaitu 3–7 cm/tahun. Pada tahap terakhir (32 jtl sampai sekarang, atau Oligosen Awal sampai sekarang) jalur



Sumber: Katili (1989)

**Gambar 1.2** Peta Lajur Tunjangan Indonesia bagian barat.



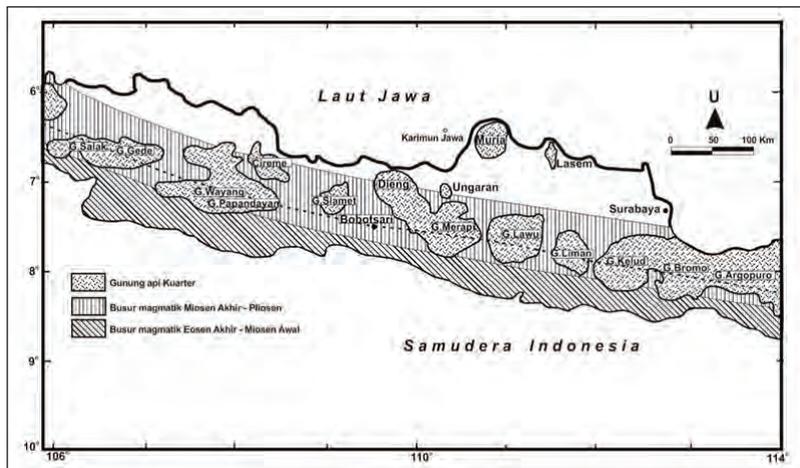
Sumber: Pulunggono & Martodjojo (1994)

**Gambar 1.3** Pola Struktur di Jawa dan Sekitarnya

pemekaran antara Samudra India–Australia berhenti, dan terjadi jalur pemekaran baru yang memisahkan Samudra India–Australia dengan Antartika pada kecepatan 5–6 cm/tahun.

Dengan demikian, terdapat hubungan antara ketiga pola arah struktur di Jawa sebagaimana diutarakan oleh Pulunggono dan Martodjojo (1994) dengan ketiga tahap evolusi tektonik yang dikemukakan oleh Powel (1976). Evolusi tektonik tahap pertama ditafsirkan berhubungan dengan Pola Meratus, evolusi tahap kedua ditafsirkan berhubungan dengan arah atau Pola Jawa, dikarenakan Pola Jawa ini memotong Pola Meratus, dan tahap ketiga berhubungan dengan Pola Sunda yang memotong kedua arah struktur lainnya.

Daerah Jawa juga sangat dipengaruhi oleh kegiatan gunung api, sebagaimana ditunjukkan oleh ketersediaan lajur-lajur magmatik (Soeria-Atmadja, Bellon, Pringgoprawiro, Polve, & Priadi, 1994, Gambar 1.4). Oleh karena itu, kegiatan tektonik dan gunung api diduga telah berperan besar dalam sejarah evolusi cekungan sedimen



Sumber: Soeria-Atmadja dkk. (1994)

**Gambar 1.4** Lajur Magmatik Paleogen-Neogen di Pulau Jawa

selama Paleogen-Neogen di daerah penelitian atau di Busur Sunda pada umumnya, sebagaimana ditunjukkan oleh dominasi bentukan struktur dan batuan, baik batuan sedimen maupun gunung api berumur Paleogen-Neogen, terutama Neogen di wilayah tersebut (Djuri, 1975; Condon dkk., 1975; Condon dkk., 1996).

Kegiatan tektonik menentukan perkembangan cekungan, terutama proses penurunan dasar cekungan dan pengangkatan di daerah batuan asal sehingga secara langsung memengaruhi perubahan-perubahan lingkungan pengendapan. Perubahan lingkungan pengendapan, sebagai akibat perbedaan antara laju sedimentasi dengan laju penurunan dan pengangkatan dasar cekungan, merupakan manifestasi proses tektonik.

Berdasarkan penelitian Soeria-Atmadja dkk. (1994) dan Bachri, Agustiyanto, Sihombing, dan Hutubessy (2007), daerah penelitian pada waktu Paleogen merupakan cekungan busur belakang sehingga diduga busur vulkanik di sebelah selatannya telah berperan penting sebagai batuan sumber material vulkanik. Kegiatan gunung api yang aktif diduga banyak menghasilkan material vulkanik, yang kemudian mengisi cekungan di sekitarnya, baik secara langsung maupun terendapkan terlebih dahulu di sekitarnya sebelum akhirnya tererosi dan kemudian terendapkan di dalam cekungan. Peranan kegiatan tektonik dan gunung api terhadap perkembangan fasies pengisi cekungan dapat dipelajari berdasarkan karakteristik sedimentologinya, baik urutan vertikal maupun pelampiran lateral satuan-satuan litostratigrafinya.

Daerah Banjarnegara dan Purbalingga terletak di tepi tenggara Paparan Sunda, yang berbatasan dengan Blok Sumba di sebelah timurnya dengan batas oleh Sesar Muria-Cilacap yang masih aktif (Pubellier, Rangin, & Le Pichon, 2005). Berdasarkan pola atau orientasi sesar Muria-Cilacap yang berlanjut sampai ke Meratus tersebut, diduga struktur tersebut merupakan pengaktifan kem-

bali struktur lama yang berupa lajur tunjaman tua yang berpola semi-konsentris di Indonesia bagian barat (Gambar 1.2). Hal ini menandakan bahwa kegiatan tektonik di daerah Banjarnegara dan sekitarnya cukup aktif sejak pra-Paleogen hingga kini sehingga diduga berperan penting dalam perkembangan atau dinamika cekungan sedimen Paleogen–Neogen.

Berdasarkan posisi tektonik daerah Banjarnegara dan Purbalingga, sebagaimana disebutkan di awal, daerah ini merupakan salah satu kunci penunjang studi evolusi tektonik Paleogen-Neogen tepian Paparan Sunda, selain daerah Kalimantan bagian selatan dan barat, serta Sumatra bagian timur. Oleh karena itu, buku hasil penelitian geologi di daerah ini diharapkan akan memberikan kontribusi bagi pemahaman lebih mendalam, baik tentang geologi Pulau Jawa (Busur Sunda) maupun evolusi geologi Paparan Sunda.

## **B. Pembahasan Buku Ini**

Terdapat empat permasalahan utama yang terkait dengan peranan kegiatan tektonik dan gunung api, terutama terhadap perkembangan satuan litostratigrafi Paleogen-Neogen di daerah yang menjadi pembahasan dalam buku ini, yaitu menyangkut hal-hal sebagai berikut.

- 1) Seberapa signifikankah perubahan nilai-nilai variabel karakteristik sedimentologi/fasies sedimen Paleogen-Neogen sebagai respons atas perubahan lingkungan pengendapan yang diakibatkan oleh kegiatan tektonik. Seperti diketahui, berdasarkan perkembangan sistem tunjaman bahwa sejak Kapur hingga kini di Pulau Jawa terjadi aktivitas tektonik (Katili, 1989). Namun, hingga kini belum diketahui intensitas kegiatan tektonik dari waktu ke waktu. Untuk mengetahui hal tersebut dapat dilihat dari respons karakteristik batuan sedimen terhadap kegiatan tektonik.

- 2) Seberapa signifikkankah perbedaan nilai-nilai variabel karakteristik fasies sedimen Paleogen-Neogen sebagai akibat perbedaan pengaruh kegiatan gunung api? Seperti diketahui, berdasarkan penelitian Soeria-Atmadja dkk. (1994) selama Paleogen hingga Kuartar terjadi kegiatan vulkansme, namun tidak diketahui seberapa besar intensitas kegiatan tersebut dari waktu ke waktu. Untuk itu, perlu diketahui respons batuan sedimen terhadap kegiatan vulkanisme sejak Paleogen hingga Neogen Awal sehingga dapat diketahui perkembangan intensitas kegiatan vulkanisme.
- 3) Seberapa eratkah korelasi antara variabel karakteristik sedimentologi penciri kegiatan gunung api terhadap variabel indikator intensitas kegiatan tektonik? Selama ini kegiatan tektonik sering dianggap dapat memicu kegiatan vulkanisme, namun belum diketahui seberapa jauh hubungan antara keduanya.
- 4) Seberapa signifikkankah korelasi atau hubungan antar beberapa variabel fasies sedimen tertentu akibat pengaruh kegiatan tektonik.

Keempat permasalahan utama tersebut akan diperinci menjadi beberapa permasalahan yang lebih khusus dan ditransformasi untuk melahirkan atau memformulasikan berbagai hipotesis.

Walaupun pembahasan dalam buku ini utamanya menggunakan analisis kuantitatif, untuk mendukungnya digunakan pula beberapa data kualitatif, seperti data gaya berat, arah arus purba, dan data paleontologi. Khusus data kuantitatif yang digunakan adalah data terukur mengenai rasio pasir/lempung, frekuensi lapisan tiap interval penampang litologi setebal lima meter, tebal rata-rata lapisan, dan jumlah material penyusun batuan asal vulkanik berupa gelas vulkanis dan fragmen batuan. Data terukur rasio pasir/lempung bukan sesuatu yang baru, namun untuk data terukur lainnya baru diperkenalkan dalam tulisan ini.

Pengujian statistik dengan metode T2 Hotelling dan uji beda independen digunakan untuk mengetahui keterdapatan perbedaan signifikan jumlah material penyusun asal vulkanik pada dua populasi atau satuan batuan, diurutkan mulai yang paling tua (Paleogen) sampai yang paling muda (Neogen Awal). Selanjutnya, dari hasil pengujian ini dapat digunakan untuk mengetahui pengaruh kegiatan vulkanisme mulai dari Paleogen sampai Neogen Awal. Semakin kuat pengaruh kegiatan vulkanisme menunjukkan bahwa kegiatan vulkanisme semakin aktif.

Metode T2 Hotelling dan uji beda independen juga digunakan untuk mengetahui respons batuan sedimen terhadap kegiatan tektonik yang dimanifestasikan dalam bentuk nilai rasio pasir/lempung, frekuensi lapisan batuan tiap interval penampang litologi setebal lima meter, dan tebal rata-rata lapisan batuan. Semakin besar respons batuan sedimen terhadap variabel-variabel tersebut menunjukkan semakin aktifnya kegiatan tektonik. Dengan demikian, evolusi kegiatan tektonik dari Paleogen sampai Neogen Awal dapat diketahui.

Sementara itu, metode korelasi dan regresi linier sederhana digunakan untuk mengetahui keterdapatan hubungan antara ketebalan rata-rata lapisan batuan dan frekuensi atau jumlah lapisan batuan dalam satu interval tertentu. Berdasarkan metode tersebut, dapat diketahui evolusi kegiatan tektonik dan vulkanisme sejak Paleogen hingga Neogen Awal. Namun, untuk mengetahui evolusi cekungan sedimen, harus diketahui perkembangan paleogeografi dan arah arus purba dari waktu ke waktu. Untuk itulah, digunakan data kualitatif seperti data gaya berat, lingkungan pengendapan, arah arus purba, dan data paleontologi.



# **BAB II**

## **DATA LAPANGAN DAN LABORATORIUM**

### **A. Umur, Lingkungan Pengendapan, dan Arah Arus Purba**

Umur dan lingkungan pengendapan satuan batuan melibatkan pembahasan hasil analisis paleontologi, ciri litologi, dan struktur sedimen. Di sini akan dibahas perkembangan lingkungan pengendapan sejak pengendapan Formasi Worawari sampai Formasi Tapak dan Kalibiuk.

#### **1. Formasi Worawari**

##### **a. Umur**

Berdasarkan posisi stratigrafinya, Formasi Worawari adalah satuan tertua pada Cekungan Serayu di daerah Banjarnegara–Purbalingga. Formasi ini sebelumnya disebut sebagai Batuan Paleogen Serayu Utara (Condon dkk., 1975), atau juga disebut/disetarakan dengan Formasi Totogan (Condon dkk., 1996) yang tersingkap paling panjang di Kali Worawari, meskipun di banyak tempat tertutup oleh longsor.

Umur Formasi Worawari berdasarkan analisis pada tiga sampel dari Kali Tulis, yaitu 06RY04A, 06RY07B, dan 06RY 10B adalah Eosen Tengah hingga Eosen Akhir. Sementara itu, sampel

dari bagian atas Formasi Worawari di Kali Gebyugan, cabang Kali Worawari, yaitu 06SB04E menunjukkan umur P17-P21/N2, atau Eosen Akhir sampai bagian bawah Oligosen Akhir (N2). Dengan demikian, umur Formasi Worawari berada pada kisaran Eosen Tengah–Eosen Akhir pada bagian bawah, hingga Oligosen bagian bawah Oligosen Akhir (N2) pada bagian atas.

Kontak antara Formasi Worawari dengan Formasi Merawu, selain kontak tektonik, diduga merupakan ketidakselarasan. Hal ini merujuk pada hasil analisis paleontologi yang menunjukkan bahwa Formasi Worawari berumur Eosen hingga Oligosen Akhir (N2). Sementara itu, Formasi Merawu mempunyai kisaran umur N4-N13 atau Miosen Awal–Miosen Tengah sehingga terdapat rumpang waktu pengendapan atau *hiatus* pada umur N3. Meskipun demikian, kontak stratigrafi keduanya tidak ditemukan di lapangan.

#### **b. Lingkungan Pengendapan**

Pada beberapa sampel dari Kali Gebyugan dijumpai fosil gigi ikan, radiolaria yang melimpah, dan fosil-fosil bentonik seperti *Bathysiphon* spp., *Cyclamina* sp., serta *Cibicidoides* sp., yang mengindikasikan lingkungan laut dalam terbuka. Keberadaan fosil jejak *Cosmoraphe* pada batupasir Formasi Worawari di Kali Tulis (Gambar 2.1) menunjang bahwa formasi tersebut diendapkan pada kondisi laut dalam.

Di daerah Kali Tengah (lokasi 08SB37), pada batuan yang dikuasai oleh batulempung dengan selingan batupasir, juga dijumpai fosil jejak *Cosmoraphe*, serta *Paleodictyon* dari kelompok *Nereite* (Gambar 2.2) yang juga menunjukkan lingkungan laut dalam (*abyssal*). Batuan tersebut sampai saat ini belum diketahui umurnya secara pasti, namun berdasarkan ciri litologi dan lingkungan pengendapannya, diduga merupakan bagian dari Formasi Worawari.



Sumber: Bachri (2011)

**Gambar 2.1** Fosil Jejak Horizontal *Cosmoraphe* dari Kelompok Nereites pada Bagian Bawah Lapisan Batupasir Formasi Worawari di Lokasi Kali Tulis (07° 20' 43.8" LS, 109° 47' 13.5" BT)



Sumber: Bachri (2011)

**Gambar 2.2** Fosil Jejak *Paleodictyon* (Kelompok Nereit) di Bagian Bawah Sisipan Batupasir di Kali Tengah (07° 17' 34.6" LS, 109° 40' 10.9" BT)

Sementara itu, bongkah-bongkah batugamping (olistolit) yang dijumpai dalam Formasi Worawari di hulu Kali Worawari berumur Paleosen hingga Eosen Tengah, sebagaimana ditunjukkan oleh kandungan fosil pada sampel berikut ini: sampel 06RY22C (Kali Wanadri, cabang Kali Worawari) mengandung foraminifera yang didominasi oleh foraminifera besar *Nummulites* sp. (Gambar 2.3). Selain itu, juga dijumpai? *Assilina* sp. Umur batuan ini dalam kisaran Paleosen Akhir–Eosen Tengah (Ta1–Ta3), dengan lingkungan pengendapan laut dangkal (*shallow inner shelf*) yang tidak jauh dari daratan (*hinterland*).



Sumber: Bachri (2011)

**Gambar 2.3** Bongkah batugamping numulit terkungkung dalam batulempung di hulu Kali Worawari.

## 2. Formasi Merawu

Formasi Merawu (Condon dkk.,1975) mempunyai lokasi tipe di Kali Merawu, namun singkapan di sepanjang Kali Merawu sebagian besar tertutup oleh material longsoran dari formasi tersebut. Pada

peta geologi edisi kedua Lembar Banjarnegara dan Pekalongan (Codon dkk., 1996), nama Formasi Merawu tidak digunakan lagi, dan sebagai gantinya digunakan nama Formasi Rambatan, yang tipe lokasinya jauh di luar daerah Banjarnegara, dan belum tentu keduanya memiliki kesetaraan. Oleh karenanya, dalam buku ini, nama Formasi Merawu tetap digunakan.

Formasi Merawu tersingkap, baik di Kali Tulis maupun Kali Merawu, yang di kedua tempat tersebut dapat dibagi menjadi dua anggota yang saling menjemari, yaitu Anggota batulumpur yang terletak relatif di bawah, dan anggota batupasir yang terletak relatif lebih di atas.

#### **a. Umur**

Secara ringkas data umur anggota batulumpur disajikan pada Tabel 4.4. Berdasarkan analisis paleontologi tersebut maka umur Anggota Batulumpur dapat ditentukan pada kisaran Miosen Awal–Miosen Tengah. Sejauh ini belum ditemukan fosil penciri umur pada anggota batupasir, namun, melihat batas antara anggota ini dengan anggota batulumpur yang bersifat gradasional dan cenderung menjemari maka diduga umurnya lebih kurang sama dengan umur anggota batulumpur, yaitu Miosen Awal–Miosen Tengah.

#### **b. Lingkungan Pengendapan**

Pada anggota batupasir di Kali Tulis dan di Kali Bulu dijumpai struktur *herring-bone* (Gambar 2.4), di samping dijumpai struktur nendatan berukuran beberapa puluh sentimeter di Kali Tulis (Gambar 2.5). Satuan batuan ini juga tersingkap dengan baik di perbukitan Karanglo dan di hulu Sungai Merawu. Keberadaan struktur *herringbone* menunjukkan bahwa anggota tersebut diendapkan pada lingkungan dataran pasang–surut (*tidal flat*).



Sumber: Bachri (2011)

**Gambar 2.4** Struktur *Herring-Bone* Pada Lapisan Batupasir Anggota Batulumpur, Formasi Merawu di Kali Bulu



Sumber: Bachri (2011)

**Gambar 2.5** Struktur Nendatan Pada Sisipan Batupasir Gampingan pada Anggota Batulumpur Formasi Merawu di Kali Tulis

Karena anggota batulumpur menjemari dengan anggota batupasir maka keduanya mempunyai lingkungan pengendapan yang saling berhubungan, yang keduanya di dataran pasang surut. Sebagai pembeda adalah anggota batulumpur diendapkan pada zona lumpur (*mud zone*), sedangkan anggota batupasir diendapkan pada zona pasir (*sand zone*).



Sumber: Bachri (2011)

**Gambar 2.6** Fosil Jejak *Cruziana* pada bagian bawah Lapisan Batupasir Anggota Batulumpur dari Formasi Merawu

Pada anggota batulumpur dari Formasi Merawu juga sering dijumpai fosil jejak pada bagian bawah lapisan batupasir, termasuk di antaranya adalah *Cruziana* (Gambar 2.6) di bagian tengah anggota batulumpur yang menunjukkan lingkungan laut dangkal, atau sangat mungkin *subtidal*. Dengan demikian, anggota batulumpur memiliki lingkungan pengendapan sebagian besar dataran pasang surut.

### c. Arah Arus Purba

Pada anggota batulumpur di Kali Tulis sering dijumpai lapisan batupasir yang bagian bawahnya menunjukkan adanya struktur *flute cast*. Dari struktur sedimen ini dapat diukur beberapa arah arus purba, yaitu berturut-turut di lokasi 08SB19E dengan arah dan penunjaman (*plunge*) sebesar N155°E/30°, di 08SB10EF sebesar N178°E/25°, di 08SB20G sebesar N175°/28° dan di 08SB20AB sebesar N182°E/32°, atau rata-rata ke arah selatan.

### **3. Formasi Penyatan**

Formasi Penyatan (van Bemmelen, 1937) atau disebut Formasi Halang oleh Djuri (1975) tersingkap dengan baik di tebing Kali Keang, Desa Longkeyang, Kabupaten Pemalang. Formasi ini juga tersingkap baik di Kali Pulaga, sekitar satu kilo meter di sebelah barat singkapan di Kali Keang.

#### **a. Umur**

Berdasarkan kandungan fosil sebagaimana disebutkan pada hasil pemeriksaan atau pengamatan paleontologi umur Formasi Penyatan dinyatakan Miosen Akhir–Pliosen Awal. Bagian bawah atau bidang kontak dengan Formasi Merawu tidak dijumpai karena tertutup oleh batuan vulkanik muda. Berdasarkan fosil foraminifera, bagian atas formasi ini berumur Pliosen Awal bagian bawah. Fosil di bagian bawah formasi tidak dijumpai, namun menurut Condon dkk. (1996) dijumpai fosil foraminifera berumur Miosen Akhir sehingga umur dari bagian bawah sampai atas diduga Miosen Akhir sampai bagian bawah Pliosen Awal. Dengan demikian, diperkirakan formasi ini mempunyai hubungan selaras dengan Formasi Merawu.

#### **b. Lingkungan Pengendapan**

Ketebalan singkapan Formasi Penyatan di Kali Keang tidak kurang dari 40 meter (Gambar 2.7). Bagian bawah singkapan tebalnya tidak kurang dari 20 meter, yang tersusun oleh perselingan lapisan napal dan batulempung gampingan yang banyak mengandung fosil foraminifera. Ke arah atas satuan batuan ini secara berangsur semakin didominasi oleh lapisan-lapisan tipis batupasir gampingan yang di beberapa bagian menunjukkan struktur konvolut yang mencirikan endapan turbidit (Gambar 2.8).



Sumber: Bachri (2011)

**Gambar 2.7** Singkapan Formasi Penyatan di Kali Keang



Sumber: Bachri (2011)

**Gambar 2.8** Struktur Perlapisan Konvolut pada Formasi Penyatan di Kali Keang

### c. Arah Arus Purba

Pengukuran arah arus purba pada formasi ini dilakukan pada struktur perlapisan dan perarian silang-siur di Kali Tembra. Arah dan penunjaman (*plunge*) arus purba di beberapa titik adalah:  $N135^{\circ}E/26^{\circ}$ ,  $N148^{\circ}E/17^{\circ}$ ,  $N152^{\circ}E/30^{\circ}$ ,  $N140^{\circ}E/21^{\circ}$  dan  $N177^{\circ}E/26^{\circ}$ , atau rata-rata menunjukkan arah ke tenggara.

#### 4. Formasi Tapak

Kandungan fosil foraminifera cukup melimpah dalam Formasi Tapak sebagaimana teridentifikasi dalam beberapa sampel batulempung gampingan yang diambil dari Kali Tungtung-gunung.

##### a. Umur

Berdasarkan kandungan fosil foraminifera dalam sampel-sampel tersebut, sebagaimana tercantum pada pemeriksaan paleontologi maka umur Formasi Tapak adalah N18-N19 atau bagian bawah Pliosen Awal sampai bagian atas Pliosen Awal.

##### b. Lingkungan Pengendapan

Formasi Tapak tersingkap baik di Kali Karang, di bawah dam, Desa Makam, Kecamatan Rembang, Kabupaten Purbalingga. Formasi ini tersusun oleh batulempung gampingan yang kaya akan fosil foraminifera kecil, diselingi oleh lapisan-lapisan batupasir sedang hingga kasar, sampai setebal 40 cm. Setempat dijumpai konglomerat dengan komponen batupasir dan batulempung gampingan yang diduga merupakan hasil penggerusan pada Formasi Tapak sendiri (Gambar 2.9).

Di beberapa horizon dijumpai lapisan yang kaya akan pecahan cangkang moluska, serta lapisan tipis, beberapa sentimeter tebalnya, yang mengandung *laminae* karbon. Secara umum perbandingan antara batupasir dan batulempung sekitar 30: 70.

Lapisan batupasir pada umumnya mempunyai ukuran butir menghalus ke atas, namun setempat dijumpai lapisan batupasir yang mengasar ke atas. Pada lapisan batupasir dijumpai beberapa fosil jejak jenis *Talasonoides* yang mencirikan laut dangkal. Perarian sejajar dan silang-siur serta gelembur gelombang (*wave ripples*) setangkep dijumpai pada lapisan-lapisan batupasir.

Di Kali Tungtung-gunung, dekat bendungan Buara, formasi ini didominasi oleh batulempung dan napal. Selain itu, banyak diselingi oleh batupasir dan sebagian batupasir konglomeratik. Ada kalanya konglomerat yang mempunyai batas bawah bersifat erosi dan banyak mengandung karbon. Batupasirnya sebagian berperairan sejajar, berstruktur perlapisan silang-siur (*graded bedding*) dan berukuran butir menghalus ke atas. Fragmen konglomerat terdiri atas basal, andesit, batupasir dan batulempung, bersudut tanggung sampai membundar. Batulempung dan napalnya banyak mengandung fosil foraminifera dan pecahan cangkang moluska sampai berukuran 2 mm, dan setempat mengandung karbon dan sisa tanaman.

Berdasarkan ciri litologi, struktur sedimen serta keterdapatannya fosil (fosil jejak dan foraminifera), maka lingkungan pengendapannya adalah laut dangkal sampai tepi pantai (transisi) dengan intervensi endapan alur.



Sumber: Bachri (2011)

**Gambar 2.9** Konglomerat dengan komponen napal dan matriks batulempung gampingan pada Formasi Tapak ini terletak di bawah jembatan Kali Karang, Desa Makam.

## **5. Formasi Kalibiuk**

Pengamatan dan pengukuran penampang stratigrafi pada Formasi Kalibiuk dilakukan di Kali Karang, Kali Muli dan Kali Tungtung-gunung. Selain dilakukan pengambilan sampel untuk analisis paleontologi juga dilakukan pengamatan ciri litologi dan struktur sedimennya guna menentukan umur dan lingkungan engendapannya.

### **a. Umur**

Berdasarkan analisis paleontologi yang sudah dibahas di depan, formasi ini mengandung fosil foraminifera planktonik dan bentonik. Himpunan fosil ini menunjukkan umur N19–N20 (bagian atas Pliosen Awal sampai bagian bawah Pliosen Tengah. Hal ini menunjukkan bahwa Formasi Kalibiuk meskipun sebagian bersentuhan menjemari dengan Fornasi Tapak, namun sebagian Formasi Tapak berumur lebih tua.

### **b. Lingkungan Pengendapan**

Pengamatan serta pengukuran stratigrafi terinci pada Formasi Kalibiuk dan Formasi Tapak di Kali Karang menunjukkan keterdapatan perbedaan susunan batuan pada kedua formasi tersebut. Perbedaan tersebut ditunjukkan oleh semakin sedikitnya serta menipisnya sisipan-sisipan batupasir dalam Formasi Kalibiuk dibandingkan pada Formasi Tapak.

Di samping itu, pada Formasi Kalibiuk lebih banyak dijumpai lapisan tipis (beberapa sentimeter) yang mengandung pecahan moluska serta karbon (Gambar 2.10), serta dijumpainya konglomerat dengan ketebalan sampai sekitar dua meter yang mengandung fragmen batulempung, batupasir, serta pecahan batu bara.

Berdasarkan ciri litologi dan struktur sedimen pada Formasi Kalibiuk dan Formasi Tapak mengindikasikan lingkungan laut



Sumber: Bachri (2011)

**Gambar 2.10** Endapan alur berupa batupasir kasar dengan pecahan-pecahan moluska pada Formasi Kalibiuk di Kali Karang.

dangkal hingga transisi. Formasi Kalibiuk yang menunjukkan lebih bersifat karbonan, dan lebih banyak mengandung konglomerat yang sebagian mengandung fragmen batubara, diduga terbentuk pada lingkungan pengendapan yang lebih dekat dengan darat dibandingkan lingkungan pengendapan Formasi Tapak.

### c. Arah Arus Purba

Pengukuran arus purba pada Formasi Kalibiuk berdasarkan struktur perlapisan silang-siur planar hanya dilakukan di tiga titik pada Sungai Muli di daerah Purbalingga. Arah besarnya penunjaman (*plunge*) ketiga pengukuran tersebut adalah  $N194^{\circ}E/25^{\circ}$ ,  $N164E^{\circ}/18^{\circ}$  dan  $N152^{\circ}E/14^{\circ}$ , atau ke arah selatan sampai tenggara.



sedimennya. Sebagian dari penampang stratigrafi terukur ini memberikan data variabel lapangan, yaitu variabel perlapisan. Variabel-variabel tersebut yaitu total tebal batupasir tiap segmen, total tebal batulempung tiap segmen, rasio pasir/lempung ( $R_{sc}$ ) tiap segmen, frekuensi lapisan batupasir tiap segmen, frekuensi lapisan batulempung tiap segmen, jumlah lapisan batupasir dan batulempung atau frekuensi lapisan tiap segmen ( $F_b$ ), dan ketebalan rata-rata lapisan tiap segmen ( $T_{ab}$ ).

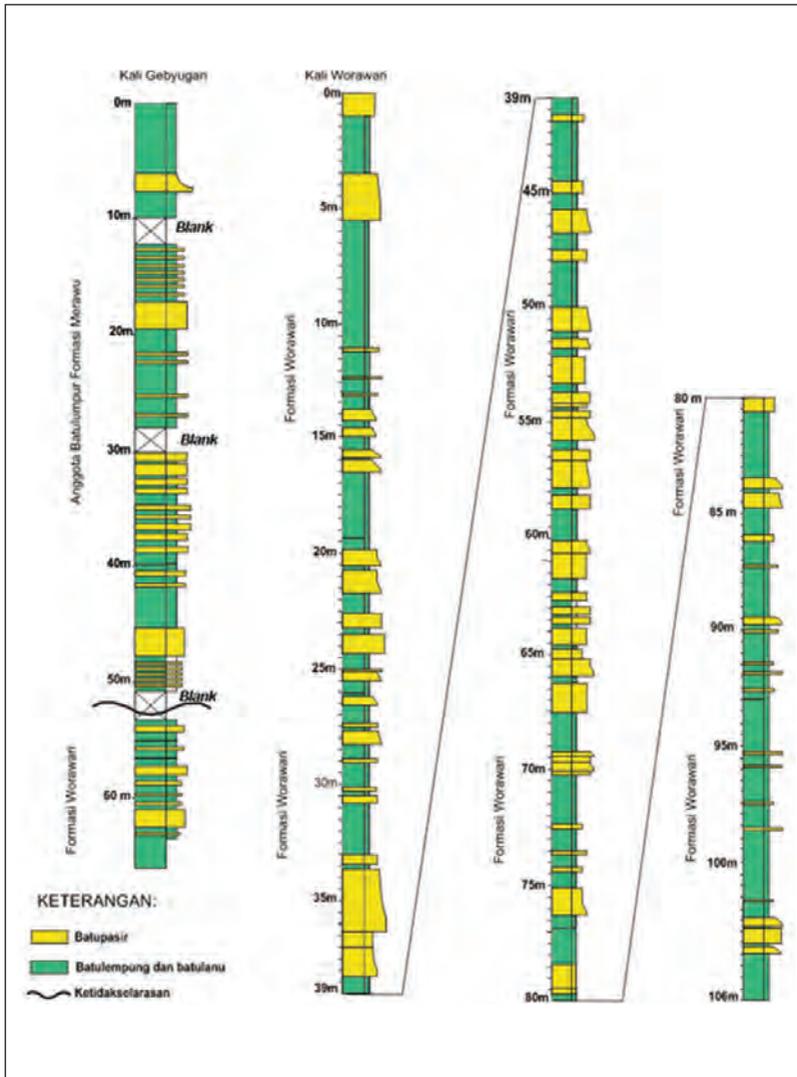
## 1. Formasi Worawari

Pada penampang terukur Formasi Worawari ini tidak dilakukan pengukuran variabel lapangan (variabel perlapisan) karena sebagian besar singkapannya banyak tertimbun longsoran sehingga pada pembuatan penampang terukur banyak dilakukan penafsiran. Pada bagian ini diambil variabel dari data laboratorium.

Pada penampang stratigrafi Formasi Worawari ini tampak terdapat tiga bagian penampang yang berbeda dominasi penyusunnya, bagian paling bawah, sekitar 40 m, didominasi oleh batulempung dan batulanau; kemudian bagian tengahnya, sekitar 17 m, didominasi oleh batupasir; dan selebihnya bagian atasnya tersusun terutama oleh batulumpur yang banyak diselingi batupasir (Gambar 2.12).

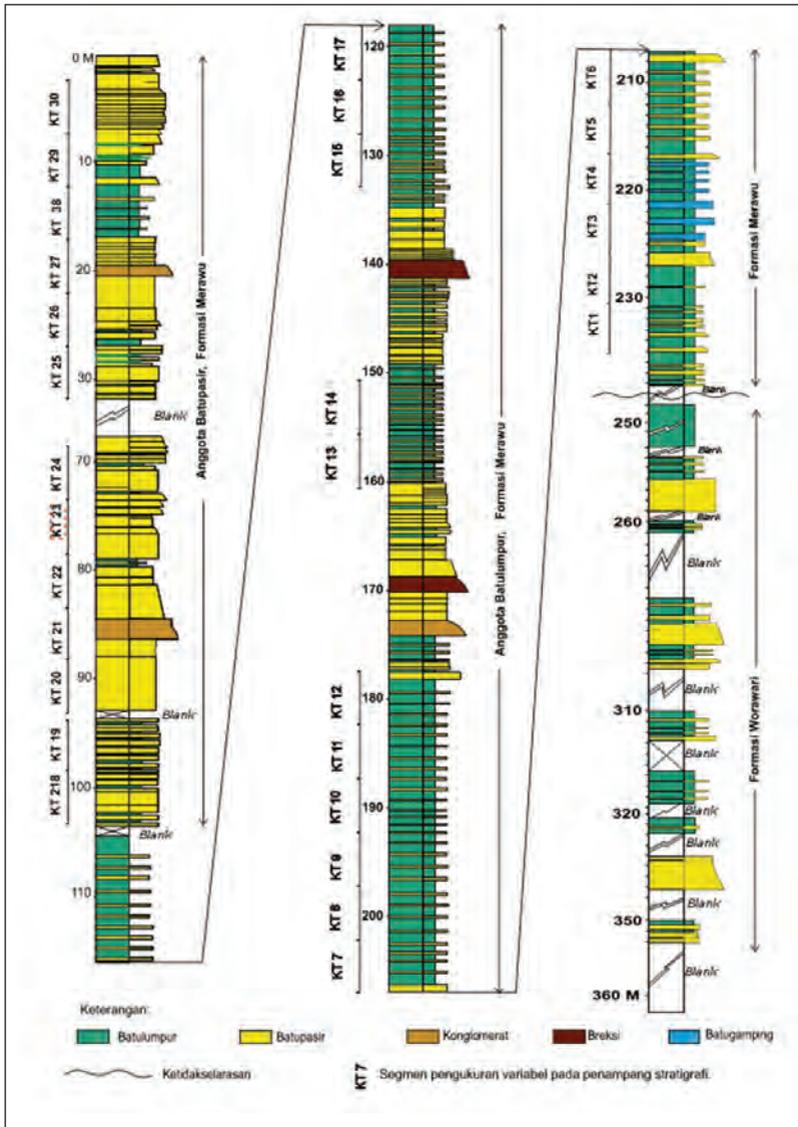
## 2. Anggota Batulumpur dari Formasi Merawu

Pengukuran stratigrafi pada anggota batulumpur dari Formasi Merawu ini dilakukan pada empat lokasi, yaitu (1) Kali Tulis, (2) Kali Bobong, (3) Kali Tengah, dan (4) Kali Nyakalan (Gambar 2.13 dan 2.14). Variabel perlapisan berupa rasio pasir/lempung ( $R_{sc}$ ), frekuensi lapisan ( $F_b$ ) dan ketebalan rata-rata lapisan ( $T_{ab}$ ), seperti tertera pada Tabel 2.1, diambil dari penampang terukur Kali Tulis, di samping data struktur sedimen dan sampel untuk



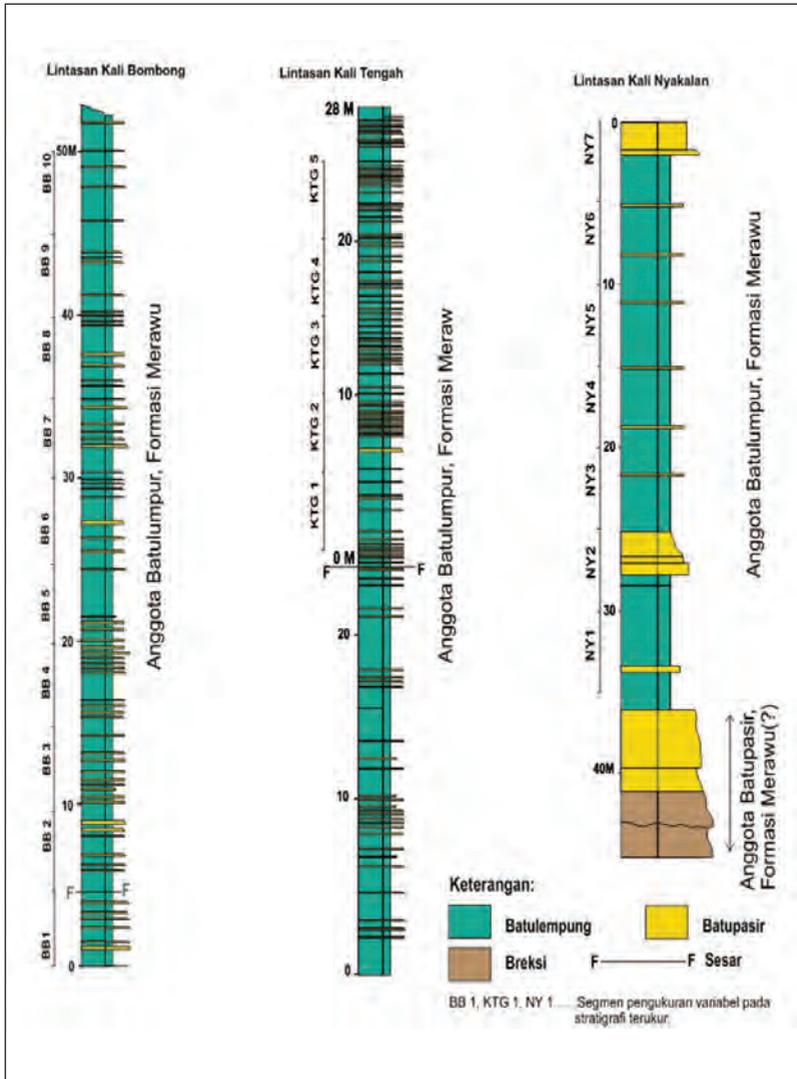
Sumber: Bachri (2011)

**Gambar 2.12** Penampang stratigrafi terukur dari Formasi Worawari di Kali Gebyugan dan Kali Worawari yang diduga secara tidak selaras ditumpangi oleh Formasi Merawu. Disederhanakan dari skala 1:100.



Sumber: Bachri (2011)

**Gambar 2.13** Penampang stratigrafi terukur Formasi Worawari dan Formasi Merawu di Kali Tulis. Disederhanakan dari skala 1:100.



Sumber: Bachri (2011)

**Gambar 2.14** Penampang stratigrafi terukur anggota batulumpur dari Formasi Merawu di Kali Bombong, Kali Tengah dan Kali Nyakalan. Bagian paling bawah penampang di Kali Nyakalan diduga merupakan bagian dari anggota batupasir dari Formasi Merawu. Disederhanakan dari skala 1:100.

**Tabel 2.1** Variabel Perlepasan pada Anggota Batulumpur, Formasi Merawu.

No.	Segmen	Total tebal		Rasio pasir/lempung ( $R_{sc}$ )	Frekuensi (jumlah) lapisan***		Tebal rata-rata lapisan ( $T_{ab}$ )
		bps* (cm)	blp** (cm)		bps	blp	
1	KT1	115	385	0.298701	11	20	25
2	KT2	100	400	0.25	9	15	33.33333
3	KT3	70	430	0.162791	7	15	33.33333
4	KT4	100	400	0.25	7	13	38.46154
5	KT5	80	420	0.190476	5	11	45.45455
6	KT6	75	425	0.176471	5	10	50
7	KT7	75	425	0.176471	6	13	38.46154
8	KT8	75	425	0.176471	7	15	33.33333
9	KT9	125	375	0.333333	6	13	38.46154
10	KT10	100	400	0.25	5	11	45.45455
11	KT11	150	350	0.428571	6	11	45.45455
12	KT12	100	400	0.25	9	19	26.31579
13	KT13	100	400	0.25	9	19	26.31579
14	KT14	125	375	0.333333	7	14	35.71429
15	KT15	100	400	0.25	6	11	45.45455
16	KT16	125	375	0.333333	5	11	45.45455
17	KT17	175	325	0.538462	5	11	45.45455
Nilai rata-rata:				0.273436	13.64706		38.32105

Sumber: Bachri (2011).

\* Termasuk breksi, konglomerat, batugamping berukuran pasir atau lebih kasar.

\*\* Termasuk batulanau dan napal.

bps : Batupasir

blp : Batulempung

analisis laboratorium. Sementara dari penampang Kali Bombong, Kali Tengah, dan Kali Nyakalan hanya diambil data geologi di luar variabel perlapisan seperti litologi, struktur sedimen serta sampel untuk analisis laboratorium.

Di lokasi Kali Tulis, Formasi Worawari dijumpai pada bagian penampang paling bawah, kemudian secara tidak selaras ditindih oleh anggota batulumpur dari Formasi Merawu yang terutama tersusun oleh lapisan batulempung, batulanau, dan kemudian ke arah atas berubah menjadi anggota batupasir dari Formasi Merawu yang didominasi oleh lapisan batupasir.

Berdasarkan pengukuran pada 17 segmen di lintasan Kali Tulis, didapatkan nilai rata-rata rasio pasir/lempung ( $R_{sc}$ ) sebesar 0.273436. Sementara itu, nilai rata-rata frekuensi lapisan ( $F_b$ ) sebesar 13.64706, dan tebal rata-rata lapisan ( $T_{ab}$ ) sebesar 38.32105 (Tabel 2.1).

Pada lintasan Kali Bombong dan Kali Tengah, panjang lintasan terukur relatif pendek dan terpotong sesar, demikian pula halnya pada Kali Nyakalan penampangnya juga relatif pendek. Dengan demikian, pada lintasan-lintasan tersebut tidak diambil data variabel perlapisan karena data yang terambil tidak mewakili. Namun, pada penampang-penampang ini tetap diambil sampel untuk analisis laboratorium.

### **3. Anggota Batupasir dari Formasi Merawu**

Penampang stratigrafi terukur untuk susunan perlapisan batuan dari anggota batupasir dari Formasi Merawu diambil dari lintasan Kali Tulis bagian atas (Gambar 2.13), di hulu Kali Merawu dan di Bukit Karanglo (Gambar 2.15). Penampang stratigrafi terukur di Bukit Karanglo tebalnya 60 meter lebih, sekitar 10 meter paling

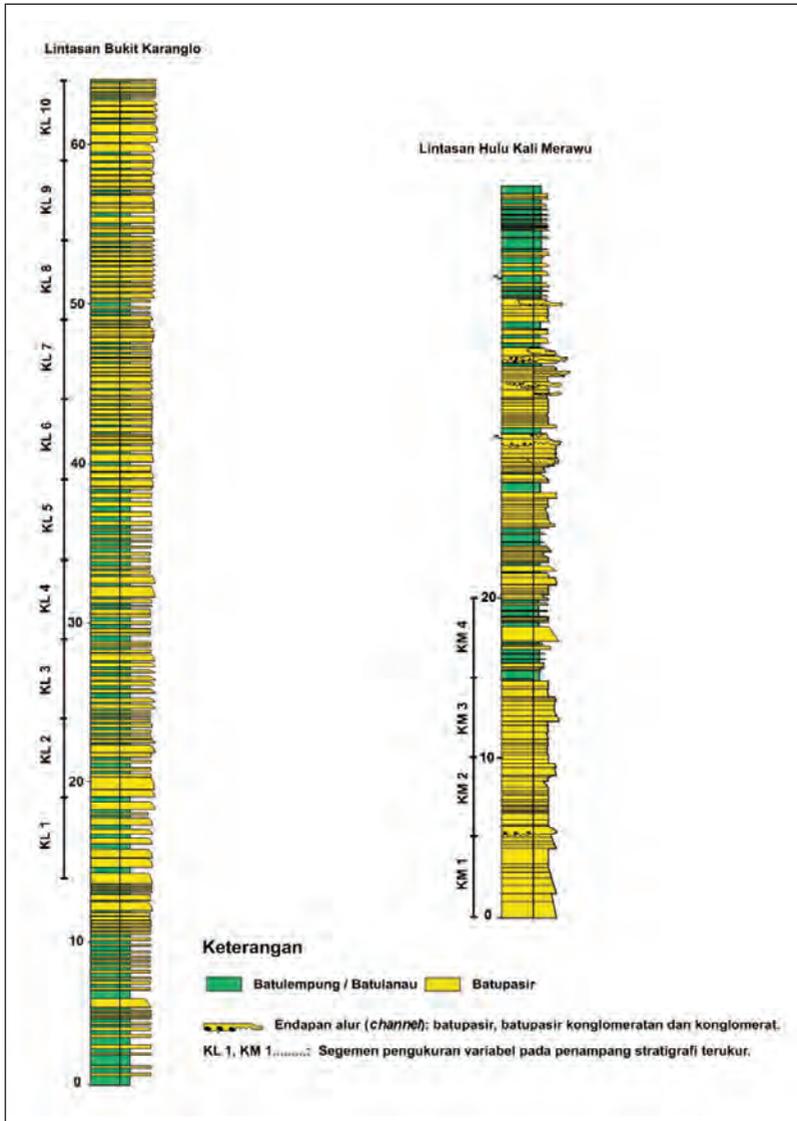
bawah ditempati batulumpur yang diselingi batupasir tipis-tipis, diduga merupakan bagian dari anggota batulumpur dari Formasi Merawu. Sementara itu, di bagian atasnya terdiri atas lapisan batupasir tipis-tipis yang diselingi oleh batulumpur dalam jumlah yang lebih kecil, dan ditafsirkan merupakan anggota batupasir dari Formasi Merawu. Di hulu Kali Merawu diukur penampang stratigrafi setebal sekitar 50 meter, namun hanya sekitar 20 meter terbawah saja yang memiliki rasio pasir/lempung lebih kurang sama dengan anggota batupasir dari Formasi Merawu di Bukit Karanglo. Oleh karena itu, hanya data variabel perlapisan bagian terbawah saja yang diambil.

Berdasarkan 15 segmen pengukuran dari kedua penampang stratigrafi terukur di Bukit Karanglo dan di hulu Kali Merawu didapatkan variabel perlapisan untuk anggota batupasir, Formasi Merawu sebagai berikut: nilai rata-rata rasio pasir/lempung ( $R_{sc}$ ) sebesar 2,39442, frekuensi perlapisan ( $F_b$ ) sebesar 53,73333, sementara ketebalan rata-rata lapisan ( $T_{ab}$ ) sebesar 9,433636 (Tabel 2.2). Struktur sedimen yang didapatkan pada kedua penampang stratigrafi tersebut adalah perlapisan sejajar, perarian sejajar, serta struktur *herring bone*, disamping itu juga dijumpai beberapa *burrows*.

#### **4. Formasi Penyatan**

Pengukuran stratigrafi Formasi Penyatan dilakukan di sepanjang dua lintasan, yaitu (1) lintasan Kali Keang dan (2) lintasan Kali Pulaga, namun variabel perlapisan hanya diambil dari penampang di Kali Pulaga, karena jumlah segmen telah mencukupi (Gambar 2.16).

Berdasarkan pengukuran perlapisan 23 segmen Formasi Penyatan pada penampang stratigrafi terukur lintasan Kali Pulaga



Sumber: Bachri (2011)

**Gambar 2.15** Penampang stratigrafi terukur anggota batupasir Formasi, Merawu di hulu Kali Merawu dan Bukit Karanglo. Disederhanakan dari penampang skala 1:100.

**Tabel 2.2** Variabel Perlapisan pada Anggota Batupasir, Formasi Merawu

No.	Segmen	Total tebal bps* (cm)	Total tebal b1p** (cm)	Rasio pasir/lempung (R <sub>sc</sub> )	Frekuensi (jumlah) lapisan***			Tebal rata-rata lapisan (T <sub>ab</sub> )
					bps	b1p	bps+b1p atau F <sub>b</sub>	
1	KL2	350	150	2.333333	41	11	52	9.615385
2	KL3	350	150	2.333333	42	11	53	9.433962
3	KL4	350	150	2.333333	39	12	51	9.803922
4	KL5	375	125	3	41	13	54	9.259259
5	KL6	380	120	3.166667	39	10	49	10.20408
6	KL7	340	160	2.125	47	15	62	8.064516
7	KL8	360	140	2.571429	49	13	62	8.064516
8	KL9	340	160	2.125	41	13	54	9.259259
9	KL10	340	160	2.125	49	14	63	7.936508
10	KT19	360	140	2.571429	38	9	47	10.6383
11	KT20	320	180	1.777778	30	12	42	11.90476
12	KT21	380	120	3.166667	38	12	50	10
13	KM1	370	130	2.846154	45	10	55	9.090909
14	KM3	330	170	1.941176	48	16	64	7.8125
15	KM4	300	200		31	17	48	10.41667
Nilai rata-rata:					2.39442		53.73333	9.433636

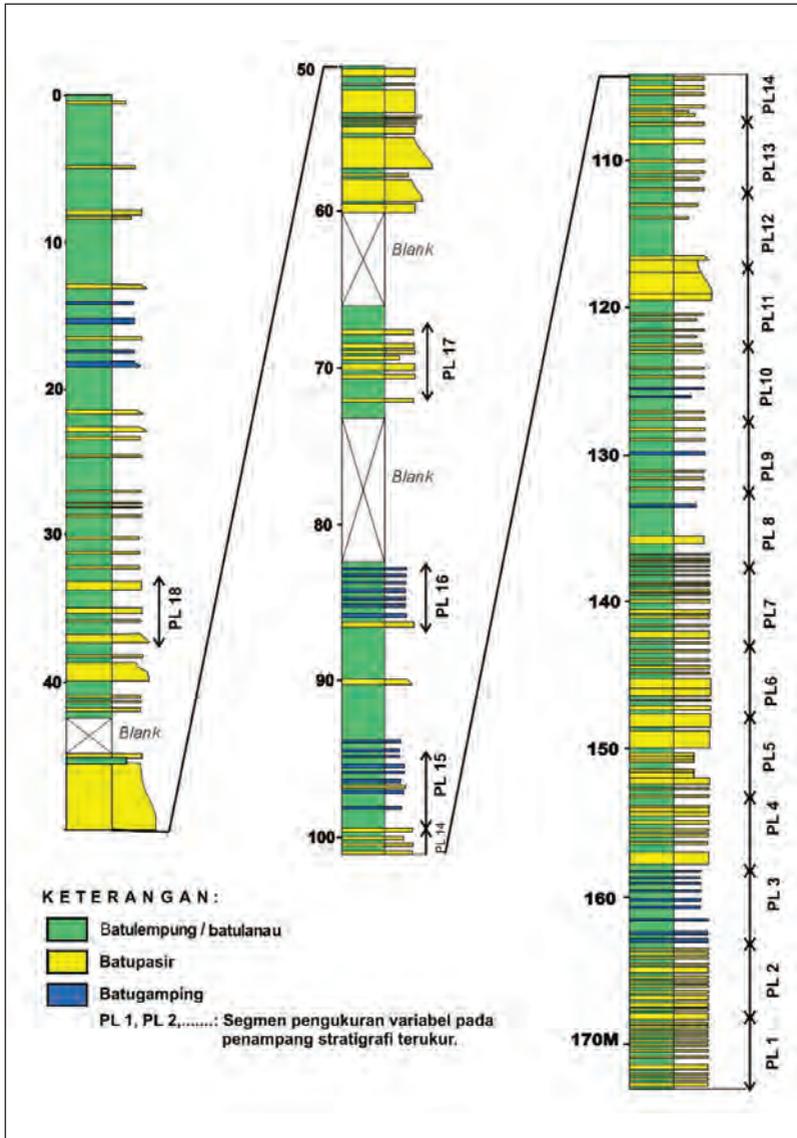
Sumber: Bachri (2011)

\* Termasuk breksi, konglomerat, batugamping berukuran pasir atau lebih kasar.

\*\* Termasuk batulanau dan napal. KL: Bukit Karang KT: Kali Tulis; KM: Kali Merawu

\*\*\* Untuk lapisan tipis-tipis kurang dari 10 cm sampai perarian (laminesi) dihitung satu lapisan untuk tiap total tebal 10 cm

Notasi Segmen : KL = Bukit Karang/o; KT = Kali Tulis; KM = Kali Merawu Hulu; bps = batupasir; b1p = batulempung



Sumber: Bachri (2011)

**Gambar 2.16** Penampang stratigrafi terukur Formasi Penyatan di Kali Pulaga, disederhanakan dari penampang skala 1:100.

didapatkan data variabel perlapisan sebagai berikut: rata-rata rasio pasir/lempung ( $R_{sc}$ : 0,463541504, rata-rata frekuensi lapisan ( $F_b$ ): 30,77778, dan ketebalan rata-rata lapisan (Tab): 16,311787 cm (Tabel 2.3).

## 5. Formasi Tapak dan Formasi Kalibiuk

Pengukuran stratigrafi perlapisan batuan dari Formasi Tapak dan Formasi Kalibiuk disertai pengambilan sampel batuan telah dilakukan, tanpa pengambilan data variabel perlapisan, karena analisis kuantitatif terhadap kedua formasi ini tidak dilaksanakan. Meskipun demikian, kedua formasi ini dimasukkan dalam studi stratigrafi dan sedimentologi sedimen Paleogen–Neogen.

Pengukuran stratigrafi Formasi Tapak dilakukan pada lintasan Kali Tungtung-gunung dan Kali Karang, di bawah dam, Desa Makam, Kecamatan Rembang, Kabupaten Purbalingga, dengan tebal penampang masing-masing sekitar 90 m dan 50 m (Gambar 2.17). Sementara itu, pengukuran stratigrafi Formasi Kalibiuk dilakukan di sepanjang lintasan Kali Karang dan Kali Muli, masing-masing setebal 20 meter lebih (Gambar 2.18).

Formasi Tapak dan Formasi Kalibiuk keduanya tersingkap di Kali Karang, Kali Tungtung-gunung, Kali Muli dan Kali Tambra. Formasi Tapak secara selaras ditindih oleh Formasi Kalibiuk dan keduanya memiliki kemiripan litologi, namun dibedakan antara lain oleh sedikitnya sisipan batupasir dalam Formasi Kalibiuk, sedangkan pada Formasi Tapak banyak dijumpai sisipan batupasir dan batupasir konglomeratik dengan batas erosi pada bagian bawahnya yang mencirikan endapan alur.

**Tabel 2.3** Data Variabel Perlapisan Formasi Penyatan

No.	Segmen	Total tebal bpsr* (cm)	Total tebal bip** (cm)	Rasio Pasir/lempung ( $R_{sc}$ )	Frekuensi (jumlah) lapisan***			Tebal rata- rata lapisan ( $T_{ab}$ )
					bps	bip	bps+bip ( $F_b$ )	
1	PL1	175	325	0.538461538	16	16	32	15.625
2	PL2	175	325	0.538461538	15	17	32	15.625
3	PL3	135	365	0.369863014	10	21	31	16.129032
4	PL4	150	350	0.428571429	16	17	33	15.151515
5	PL5	170	330	0.515151515	14	16	30	16.6666667
6	PL6	175	325	0.538461538	16	17	33	15.151515
7	PL8	145	355	0.408450704	12	16	28	17.857143
8	PL9	150	350	0.428571429	13	17	30	16.6666667
9	PL13	160	340	0.470588235	14	15	29	17.241379
10	PL14	155	345	0.449275362	15	21	36	13.888889
11	PL15	160	340	0.470588235	9	18	27	18.518519
12	PL16	175	325	0.538461538	17	14	31	16.129032
13	PL18	180	320	0.5625	16	14	30	16.6666667
14	PL19	150	350	0.428571429	14	16	30	16.6666667
15	PL20	150	350	0.428571429	12	19	31	16.129032
16	PL21	130	370	0.351351351	11	18	29	17.241379
17	PL22	155	345	0.449275362	14	17	31	16.129032
18	PL23	150	350	0.428571429	14	17	31	16.129032
		Nilai rata-rata		0.463541504	30.77778			16.311787

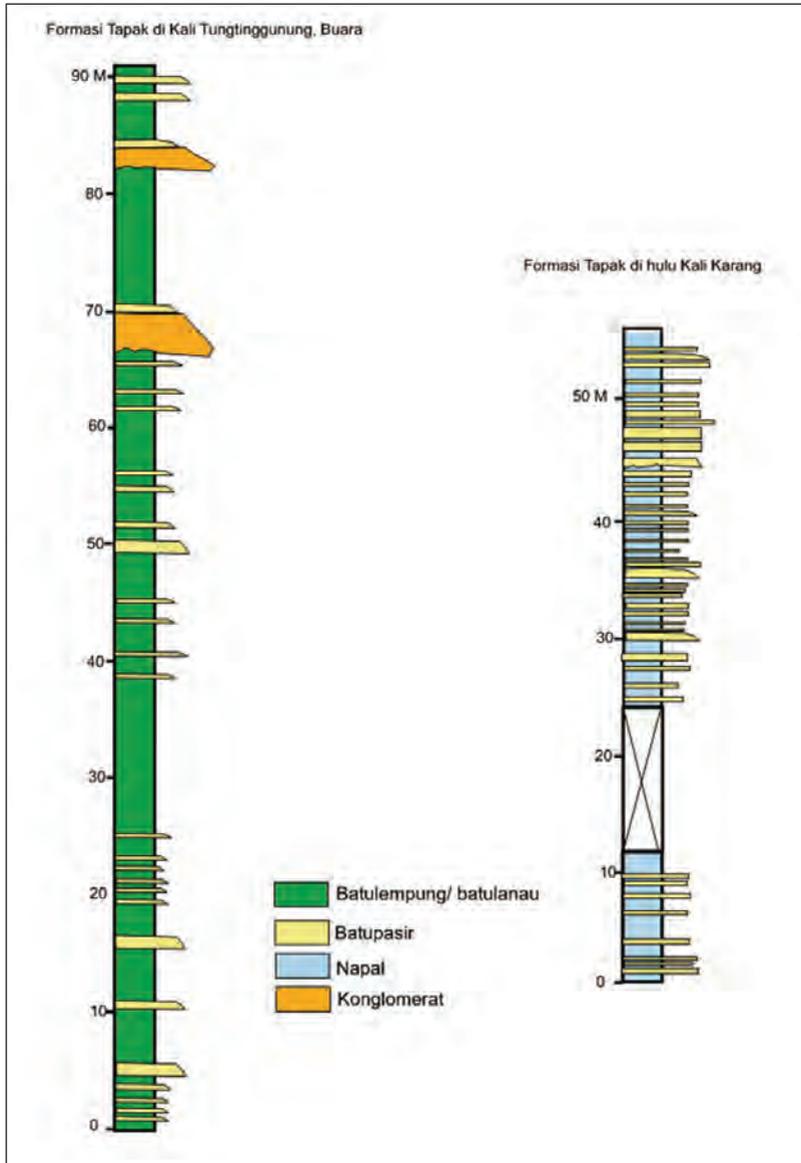
Sumber: Bachri (2011)

\* Termasuk breksi, konglomerat, batugamping berukuran pasir atau lebih kasar.

\*\* Termasuk batulanau dan napal.

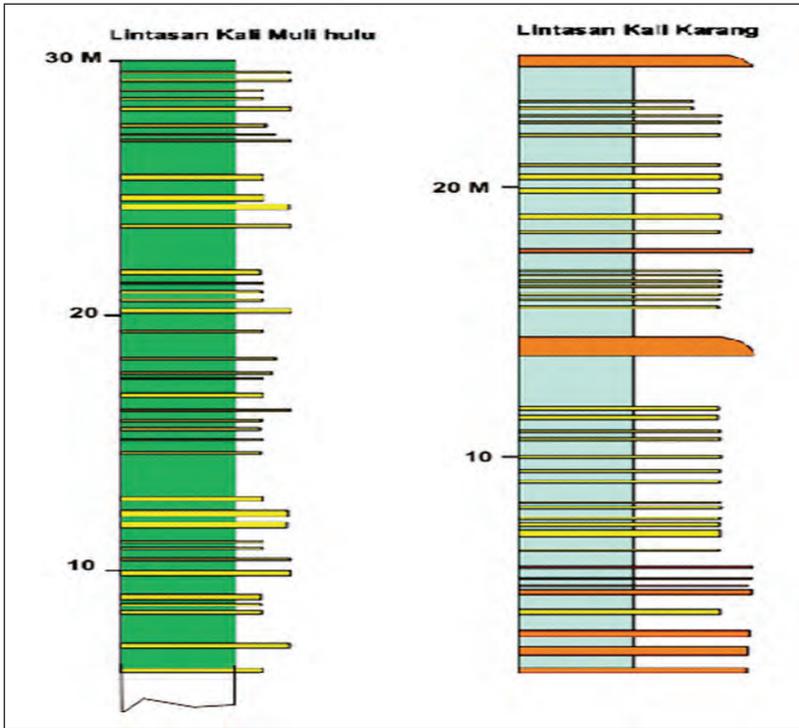
\*\*\* Untuk lapisan tipis-tipis kurang dari 10 cm sampai perarian (lamnasi) dihitung satu lapisan untuk tiap total tebal 10 cm.

Notasi Segmen: PL = Kali Pulaga; bps = batupasir; bip = batulempung



Sumber: Bachri (2011)

**Gambar 2.17** Penampang terukur Formasi Tapak di Kali Tungtinggunung dan Kali Karang, disederhanakan dari penampang skala 1:100.



Sumber: Bachri (2011)

**Gambar 2.18** Penampang stratigrafi terukur Formasi Kalibiuk di Kali Muli dan Kali Karang, disederhanakan dari penampang skala 1:100.

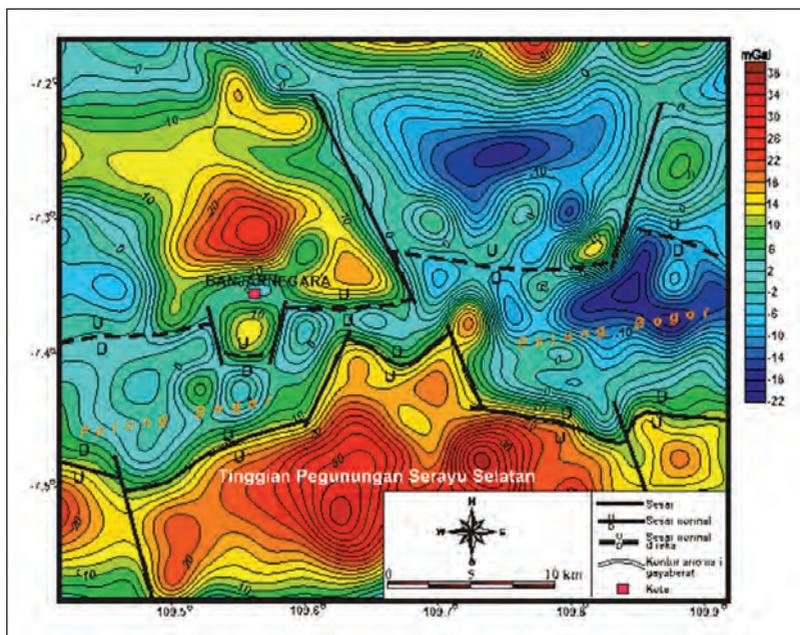
## C. Data Gaya Berat

Pengukuran data gaya berat di daerah Banjarnegara menunjukkan di sebelah selatan terdapat tinggian yang ditandai oleh adanya anomali residual positif hingga 32 mgal, sedangkan di sebelah utaranya terdapat rendahan yang ditandai oleh adanya anomali residual negatif (Gambar 2.19). Diduga daerah rendahan tersebut diapit oleh struktur sesar normal yang berarah lebih kurang barat-timur. Daerah tinggian tersebut antara lain tersusun oleh batuan malihan, batuan beku basa, dan ultrabasa, bancuh, dan

grewake berumur Kapur yang menempati daerah Pegunungan Serayu Selatan. Sementara itu, daerah rendahan di sebelah utaranya sering disebut sebagai Palung Bogor (Sujanto & Sumantri, 1975) dan termasuk Cekungan Serayu atau Pegunungan Serayu Utara.

Berdasarkan analisis lanjutan dari anomali residual gaya berat, dengan mengasumsikan rapat massa rata-rata batuan alas di daerah penelitian sebesar  $2,65 \text{ gr/cm}^3$  (kombinasi batuan granitan dan malihan) dan rata-rata rapat massa batuan sedimen sebesar  $2.45 \text{ cm}^3$ , maka didapatkan kontur kedalaman batuan alas di daerah penelitian seperti terlihat pada Gambar 2.20 (Bachri dkk., 2006).

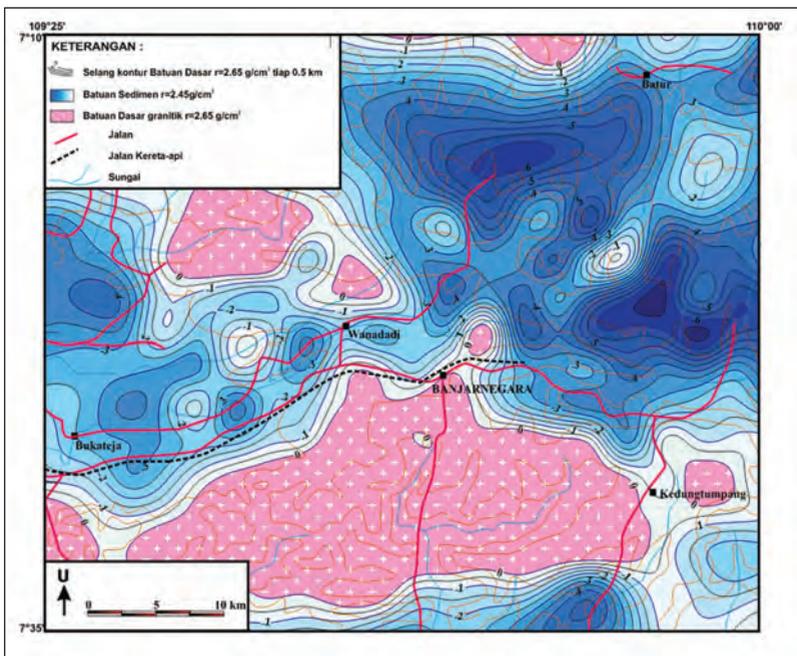
Sementara itu, pengukuran data gaya berat di daerah Purbalingga menunjukkan keberadaan rendahan di bagian selatan, yaitu Rendahan Bobotsari yang berorientasi arah timur-barat (Bachri



Sumber: Bachri dkk. (2006)

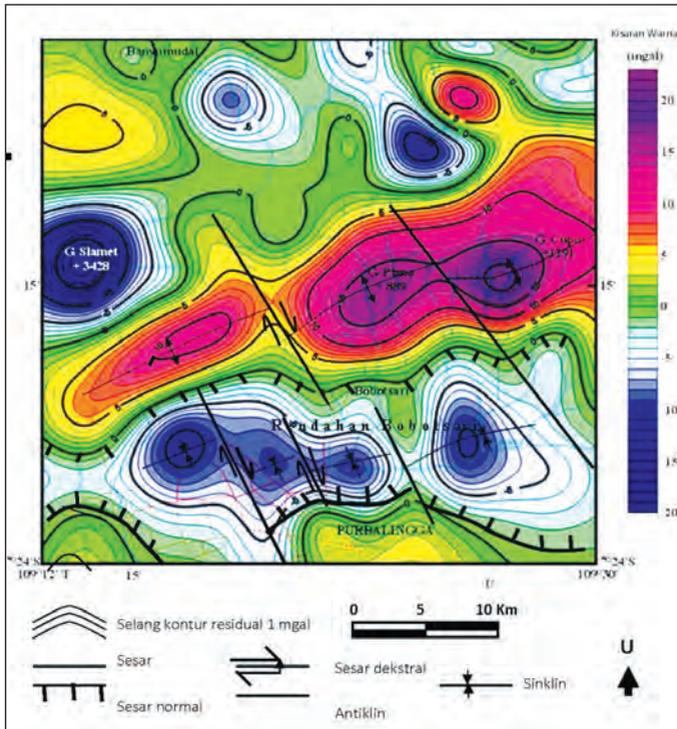
**Gambar 2.19** Peta Gaya Berat Residual Daerah Banjarnegara

dkk., 2007, Gambar 2.21) yang ditunjukkan oleh terdapatnya anomali negatif. Rendahan Bobotsari ini merupakan bagian dari Palung Bogor yang terletak di bagian selatan Pegunungan Serayu Utara, berbatasan dengan Pegunungan Serayu Selatan (Sujanto & Sumantri, 1975). Data gaya berat tersebut menunjukkan kehadiran pola lipatan yang berorientasi hampir barat-timur, disertai dengan beberapa sesar mendatar, dan struktur graben yang membentuk Rendahan Bobotsari.



Sumber: Bachri dkk. (2006)

**Gambar 2.20** Kontur kedalaman gaya berat di atas menggambarkan sebaran batuan alas granitan dan batuan sedimen penutup di daerah Banjarnegara.



Sumber: Bachri dkk. (2007)

**Gambar 2.21** Peta anomali residual (gaya berat) daerah Purbalingga

## D. Pemeriksaan Laboratorium

Pelaksanaan penelitian kuantitatif memerlukan beberapa variabel terukur yang salah satunya berasal dari pemeriksaan laboratorium. Meskipun demikian, tidak semua data yang diambil bersifat kuantitatif, terdapat pula data yang memberikan informasi kualitatif, yang justru sangat mendukung dalam analisis geologi. Pemeriksaan laboratorium paleontologi hanya memberikan informasi kualitatif, sedangkan pada pemeriksaan laboratorium petrografi menghasilkan pula data kuantitatif.

## 1. Pemeriksaan Paleontologi

### a. Formasi Worawari

Pemeriksaan paleontologi beberapa sampel dari Formasi Worawari diambil dari Kali Gebyugan (cabang Kali Worawari), Kali Simpar, Kali Bombong, dan Kali Worawari yang pada umumnya menunjukkan umur Oligosen. Pada sampel di bagian paling bawah Kali Gebyugan, batulempung No.06SB04D, ditemukan dua spesimen fosil foraminifera plankton dengan pengawetan tidak baik sehingga tidak teridentifikasi spesiesnya. Oleh karenanya tidak dapat ditentukan umurnya. Sampel bentos yang ditemukan antara lain *Cyclamina* sp., *Bathysiphon* sp. dan *Cibicidoides* sp. Beberapa meter di atas sampel tersebut ditemukan batulempung (sampel 06SB04E) yang mengandung fosil foraminifera plankton *Globigerina* cf. *sellii* Borseti, *Globigerina galavisis* Bermudez, *Globorotalia* cf. *nana* Bolli, *Globigerina* cf. *angulisuturalis* Bolli dan *Globigerina* spp., yang berdasarkan himpunan tersebut menunjukkan kisaran umur P17–P21/N2 (Blow, 1969) atau Oligosen. Sampel tersebut mengandung foraminifera bentos antara lain *Bathysiphon* spp., *Cyclamina* sp., *Glomospira* sp., *Haplophragmoides* spp., *Hyperammia* sp., *Nodosaria* sp., *Reophax* sp., *Trochammina* sp., *Hyperammia* sp., dan beberapa genus foraminifera bercangkang *agglutinated* yang tidak dapat dideterminasi. Berdasarkan himpunan fosil foraminifera plankton maka sampel 06SB04E dapat ditentukan umurnya, yaitu P17–P21/ N2 atau Oligosen. Sementara itu, lingkungan pengendapannya adalah laut-dalam yang terbuka.

Beberapa meter di atas sampel 06SB04E dijumpai batulempung (sampel 06SB06(A1)). Sampel ini mengandung fosil plankton *Globigerinoides sacculifer* (Brady), *Globoquadrina venezuelana* (Heberg), dan *Globorotalia* cf. *siakensis* (LE Roy) yang menunjukkan kisaran umur N4–N14 (Blow) atau Miosen Awal–Miosen Tengah. Adapun fosil bentosnya adalah *Cibicidoides* sp., *Pleurostomella* sp.,

dan *Traochammina* sp. yang menunjukkan lingkungan laut terbuka. Beberapa meter di atasnya lagi dijumpai batulempung (sampel No.06SB06A2) yang mengandung fosil polen, yaitu *Meyeripollis naharkotensis*, *Florschuetzia trilobata*, *Pinus*, *Pometia*, *Pandanus*, *Spiniferites ramosus*, *Verrucatosporites usmensis*, *Acrostichum aureum*, *Laevigatosporites*, dan *Triletesporites*. Hadirnya fosil *Meyeripollis naharkotensis*, *Florschuetzia trilobata* dan *Verrucatosporites usmensis* menunjukkan bahwa sampel tersebut berumur Oligosen. Namun, keberadaan *Florschuetzia trilobata*, *Pandanus*, *Spiniferites rumous* dan *Acrostichum aureum* mencirikan lingkungan *back mangrove*. Hal ini sangat berbeda dengan lingkungan pengendapan sampel di sekitarnya, yaitu laut dalam terbuka sehingga ada kemungkinan sampel bentuk tersebut merupakan fosil terangkut dari atas.

Sampel Formasi Worawari lainnya diambil dari Kali Worawari (sampel No.061Q11F) berupa batulempung, cabang Kali Bombong (sampel No.06VA02J), berupa batulempung, dan dari Kali Simpar (sampel No.06VA03M), juga batulempung, yang semuanya mengandung polen yang menunjukkan umur Oligosen.

## **b. Formasi Merawu**

Pada formasi ini fosil foraminifera umum dijumpai pada anggota batulumpur, yaitu pada sampel batulempung atau batulanau gampingan, sedangkan pada anggota batupasir tidak dijumpai fosil foraminifera, tetapi dijumpai fosil nano. Sampel-sampel yang mengandung fosil foraminifera tersebut antara lain sampel No.06SB15A1 dari Kali Bombong, No.06SB20A dari Kali Nyakalan, No.06WR05 (S01) dari Kali Bulu, No.06WR07(1) dari Kali Bulu, No.06WR (03) dari Kali Bulu, No.06WR11(a) dari Kali Bulu, No.06RY12B, dan No.06RY13B keduanya dari Kali Tulis.

Sampel No.06SB15A1 dari Kali Bombong mengandung fosil foraminifera plankton *Globigerinoides sacculifer* (Brady),

*Globigerinoides subquadratus* Bronnimann, *Globigerinoides trilobus* (Resuss), *Globoquadrina altispira* (Cushman & Jarvis), *Globorotalia archeomenardii* Bolli, *Globorotalia peripheroronda* Banner & Blow, *Globorotalia* cf. *siakensis* (Le Roy), dan *Hastigerina praesiphonifera* (Blow) yang menunjukkan kisaran umur bagian akhir Miosen Awal–Miosen Tengah (N8-N10). Sementara kandungan fosil bentosnya berupa *Brizalina* sp., *Cibicidoides* sp., *Nodosaria* sp., dan *Oridorsalis* sp. yang menunjukkan lingkungan pengendapan laut terbuka, sublitoral luar.

Sementara itu, sampel batulempung dari Kali Bulu, sampel No.06WR07 (1), memiliki kisaran umur lebih lebar yang ditunjukkan oleh kandungan fosil *Globigerinoides subquadratus* Bronnimann, *Globigerinoides trilobus* (Reuss), *Globoquadrina altispira* (Cushman & Jarvis) dan *Globoquadrina venezuelana* (Hedberg) yang menunjukkan kisaran umur N4-N13 atau Miosen Awal–Miosen Tengah, dengan lingkungan laut terbuka.

Sampel lainnya yang mewakili anggota batulumpur dari Formasi Merawu menunjukkan umur yang tidak jauh berbeda, yaitu masing-masing 06SB20A (Kali Nyakalan) menunjukkan umur N7-N10, 06WR05 (S01) (Kali Bulu) dengan umur N4-N12, 06WR07(3) (Kali Bulu) dengan umur N7-N10, 06WR11(A) (Kali Bulu) dengan umur N7-N10, 06RY12B (Kali Tulis) dengan umur N8-N9 dan 06RY13B (Kali Tulis) dengan umur N4-N13 (Tabel 2.4).

Sementara itu, pada anggota batupasir Formasi Merawu ditemukan fosil nano dalam batupasir, yaitu pada sampel No.06WR19 dan No.06WR04B, keduanya dari Kali Bulu. Sampel No.06WR19 mengandung fosil *Helicosphaera carteri*, *Sphenolithus moriformis*, *Coccolithus miopelagicus*, *Reticulofenestra pseudoumbilica*, *Discoaster deflandrei*, *D. exilis*, *D. variabilis* dan *Pontosphaera* sp. Kumpulan spesies tersebut menunjukkan umur Miosen Tengah pada Zona NN7. Tidak jauh berbeda dengan sampel tersebut,

**Tabel 2.4** Kandungan fosil foraminifera pada beberapa sampel dari anggota batulumpur dari Formasi Merawu.

No.	No. Sampel	Lokasi	Koordinat	Umur
1	06SB15A1	Kali Bombong	109° 47' 47,6" BT 07° 16' 24,4" LS	N8-N10
2	06SB20A	Kali Nyakalan	-	N7-N10
3	06WR05(S01)	Kali Bulu	109° 39,168' BT 07° 16,341' LS	N4-N12
4	06WR07(1)	Kali Bulu	-	N4-N13
5	06WR07(3)	Kali Bulu	-	N7-N10
6	06WR11(A)	Kali Bulu	-	N7-N10
7	06RY12B	Kali Tulis	109° 47' 07,1" BT 07° 20' 35,2" LS	N8-N9
8	06RY13B	Kali Tulis	109° 47' 31,2" BT 07° 20' 12,5" LS	N4-N13

sampel No.06WR04B mengandung fosil *Sphenolithus moriformis*, *Helicosphaera carteri*, *Cyclicargolithus floridanus*, *Reticulofenestra pseudoumbilica*, *Discoaster deflandrei*, *D. exilis*, *Coccolithus* dan *Pontosphaera* sp. yang menunjukkan umur Miosen Tengah pada Zona NN6-NN7.

### c. Formasi Penyatan

Beberapa sampel batulempung gampingan dan napal pada bagian bawah singkapan di Kali Keang banyak mengandung fosil foraminifera. Fosil-fosil tersebut antara lain: *Globoquadrina altispira*, *Globigerina venezuelana*, *Globorotalia pseudotumida*, *Hastigerina siphonifera*, *Globorotalia menardii*, *Globorotalia obesa*, *Globorotalia acostaensis*, *Globigerina bulloides*, *Globigerina nephentes*, *Globorotalia merotumida*, *Globorotalia scitula*, *Sphaeroidinellopsis seminula*, *Orbulina universa*, *Globigerinoides sacculiferus*, *Globigerinoides trilobus*, *Globorotalia pseudomiocenica*, *Globigerinoides obliquus*, *Globorotalia menardii cultrata*, *Globorotalia miocenica*, *Globigerina venezuelana*, *Globorotalia continua*, *Globigerinoides trilobus*, *Globorotalia* sp., *Pulleniatina primalis*, *Gloigerinoides immaturus*,

*Globorotalia menardii*, *Globigerinoides obliquus*. Himpunan fosil tersebut menunjukkan umur Miosen Akhir bagian atas–awal Pliosen Awal (N17-N18).

#### **d. Formasi Tapak**

Beberapa sampel dari Kali Tungtung-gunung mewakili bagian bawah, atas, dan tengah telah diambil untuk analisis paleontologi. Bagian bawah diwakili oleh sampel batulempung gampingan N0.07RF03A yang mengandung fosil *Orbulina universa*, *Globigerinoides trilobus*, *Globigerinoides sacculiferus*, *Globorotalia tumida*, *Sphaerodinellopsis seminulina*, *Globigerinoides obliquus*, *Pulleniatina primalis*, *Globorotalia pseudomiocenica*, *Globigerina venezuelana*, *Sphaerodinellopsis multilobata*, *Globigerina bulloides* dan *Globorotalia merotumida*. Kumpulan fosil tersebut menunjukkan umur N18–N19 atau Pliosen Awal dengan lingkungan pengendapan laut.

Sementara itu, bagian tengahnya diwakili sampel batulempung gampingan No. 07RF03N2 yang mengandung fosil *Orbulina universa*, *Pulleniatina primalis*, *Globigerinoides extremus*, *Globorotalia tumida*, *Sphaerodinellopsis siminulina*, *Gloquadrina altispira*, *Globorotalia cultrata menardii*, *Globorotalia plesiotumida*, *Globorotalia scitula*, *Globorotalia acostaensis humerosa*, *Globorotalia pseudomiocenica*, *Globorotalia margaritae* dan *Globorotalia languensis*. Himpunan fosil tersebut menunjukkan umur N19 dengan lingkungan laut. Demikian pula halnya sampel dari bagian atas penampang di Kali Muli, yaitu sampel batulempung gampingan No. 07TH02M, yang juga menunjukkan umur N19. Di samping ketiga sampel tersebut telah diambil pula sampel-sampel lain (9 buah) yang semuanya menunjukkan umur yang hampir sama.

### e. Formasi Kalibiuk

Pengambilan sampel Formasi Kalibiuk untuk analisis paleontologi antara lain dilakukan di hulu Kali Muli, dengan penampang terukur hanya setebal sekitar 25 meter. Bagian bawah penampang tersebut diwakili oleh sampel batulempung gampingan No.07RF02AC yang mengandung fosil *Sphaerodinellopsis seminulina*, *Globorotalia acostaensis humerosa*, *Pulleniatina primalis*, *Globorotalia tumida*, *Globigerinoides extremus*, *Globigerinoides sacculiferus*, *Globigerinoides ruber*, *Globorotalia pseudomiocena*, *Globigerinoides trilobus*, *Globorotalia crassaformis hessi*, *Orbulina universa*, *Globoquadrina altispira*, *Globorotalia cultrata menardii* dan *Globigerina bulloides*. Himpunan fosil tersebut menunjukkan umur N19, dengan lingkungan pengendapan laut. Sementara itu, bagian atas penampang diwakili sampel batulempung gampingan No.07TH01AH yang mengandung fosil foraminifera plankton berupa *Globigerinoides immaturus*, *Orbulina universa*, *Globorotalia acostaensis*, *Globorotalia pseudomiocena*, *Sphaerodinnella subdehiscens*, *Globigerinoides fistulosus*, *Globigerinoides extremus*, *Pulleniatina primalis*, *Globorotalia cultrate menardii*, *Globigerina bulloides* dan *Globorotalia merotumida*. Adapun fosil bentosnya berupa *Rotalia*, *Uvigerina*, *Robulus*, *Bulimina*, *Anomalina*, *Sarocerania* dan *Logena*. Himpunan fosil planktonik tersebut menunjukkan umur N19–N20 dengan lingkungan pengendapan laut.

## 2. Pemeriksaan Petrografi

Pemeriksaan petrografi yang dilakukan ini terutama bertujuan untuk mendapatkan data variabel pada tiga formasi yang umurnya berurutan, yaitu Formasi Worawari, Formasi Merawu, dan Formasi Penyatan agar dapat digunakan untuk menganalisis perkembangan

kegiatan vulkanisme dan tektonik berdasarkan perubahan komposisi mineralogi batuan ketiga formasi tersebut.

Variabel-variabel petrografi yang diukur adalah jumlah fragmen batuan vulkanik ( $R_v$ ), jumlah gelas vulkanik ( $G_v$ ), dan jumlah keduanya ( $R_v + G_v$ ). Yang dimaksud dengan jumlah (*counts*) di sini adalah penghitungan berdasarkan keberadaan gelas atau fragmen pada tiap *grid* yang ditentukan. Semakin sering ditemukan gelas atau fragmen vulkanik maka *count* semakin tinggi. Berdasarkan 11 sampel pada masing-masing formasi, nilai rata-rata ( $R_v + G_v$ ) pada Formasi Worawari adalah 98,636 *counts*, pada Formasi Merawu adalah 173,090 *counts*, sedangkan pada Formasi Penyatan adalah 232,545 *counts* (Tabel 2.5–2.7).

**Tabel 2.5** Variabel penyusun asal vulkanik ( $R_v + G_v$ ) pada batupasir Formasi Worawari

No.	No. Sampel	Fragmen batuan vulkanik ( $R_v$ ) (Counts)	Gelas vulkanik ( $G_v$ ) (Counts)	Jumlah penyusun asal vulkanik ( $R_v + G_v$ ) (Counts)
1	06SB03A1	24	62	86
2	06SB04A	14	74	88
3	06SB04A1	9	91	100
4	06SB05	12	87	99
5	06SB05A	25	82	107
6	06SB05D	32	69	101
7	06SB06B1	41	64	105
8	06SB07A1	31	61	92
9	06RY04B	31	67	98
10	06RY23B	75	29	104
11	06RY01	23	82	105
Nilai rata-rata ( $R_v + G_v$ )				98,636

Sumber: Bachri (2011)

**Tabel 2.6** Variabel penyusun batuan asal vulkanik ( $R_v + G_v$ ) pada batupasir Formasi Merawu

No.	No. Sampel	Fragmen batuan vulkanik ( $R_v$ ) (Counts)	Gelas vulkanik ( $G_v$ ) (Counts)	Jumlah penyusun asal vulkanik ( $R_v + G_v$ ) (Counts)
1	06SB13A	161	25	186
2	06RY13A	132	36	168
3	06SB13B	110	65	175
4	06RY18	128	64	192
5	06RY21A	86	76	162
6	08SB07N8	78	83	161
7	06SB16	153	20	173
8	06SB17B1	108	62	170
9	06SB20	103	71	174
10	06RY10A	94	83	177
11	06RY11B	77	89	166
<b>Nilai rata-rata (<math>R_v + G_v</math>)</b>				<b>173,090</b>

Sumber: Bachri (2011)

**Tabel 2.7** Variabel penyusun batuan asal vulkanik ( $R_v + G_v$ ) pada sampel batupasir Formasi Penyatun.

No.	No. Sampel	Fragmen batuan vulkanik ( $R_v$ ) (Counts)	Gelas vulkanik ( $G_v$ ) (Counts)	Jumlah penyusun asal vulkanik ( $R_v + G_v$ ) (Counts)
1	08NU01	226	13	239
2	08NU02	186	26	212
3	08NU03	246	0	246
4	08NU04	236	7	243
5	08NU05	214	41	255
6	08NU06	194	24	218
7	08NU07	243	0	243
8	08NU08	202	24	226
9	08NU09	189	28	217
10	08NU10	214	36	250
11	08NU11	167	42	209
<b>Nilai rata-rata (<math>R_v + G_v</math>)</b>				<b>232,545</b>

Sumber: Bachri (2011)



# **BAB III**

## **POPULASI, VARIABEL, DAN PENGUJIAN**

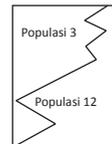
### **A. Populasi, Aneka Variabel, Kerangka Pemikiran, dan Kerangka Penalaran**

#### **1. Pembatasan Populasi**

Pada pembahasan ini populasi digunakan sebagai objek penelitian sehingga akan diterapkan pendekatan metode probabilistik. Populasi yang akan dipakai adalah satuan litostratigrafi atau formasi yang masing-masing memiliki ciri litologi atau fasies tertentu. Tiap-tiap fasies tersebut memiliki karakteristik sedimentologi yang memanifestasikan lingkungan pengendapan tertentu, termasuk akibat pengaruh kegiatan tektonik dan gunung api. Pada tiap populasi akan dilakukan pengukuran kolom stratigrafi terperinci, dan pengambilan sampel batuan untuk analisis laboratorium guna mendapatkan nilai atau data beberapa variabel yang akan digunakan untuk pengujian hipotesis melalui analisis statistik.

Dalam penelitian yang telah dilakukan, populasi dibatasi pada empat satuan batuan berumur Paleogen–Neogen, baik yang mengandung lapisan-lapisan batupasir maupun batulumpur, yang mewakili Formasi Worawari, Formasi Merawu bagian bawah, Formasi Merawu bagian atas, dan Formasi Penyatan (Tabel 3.1).

**Tabel 3.1** Populasi dalam penelitian

UMUR	SATUAN LITOSTRATIGRAFI	KELOMPOK (POPULASI)	VARIABEL YANG DIGUNAKAN UNTUK ANALISIS KUANTITATIF
NEOGEN AKHIR			Tanpa variabel untuk analisis kuantitatif
NEOGEN AWAL	Formasi Penyeatan	Populasi 4	
			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>(R_v + G_v)</math> : Jumlah fragmen batuan vulkanik + gelas vulkanik</li> <li>2. Rsc : Rasio pasir/lempung</li> <li>3. Fb : Frekuensi lapisan batuan</li> <li>4. Tab : Tebal rata-rata lapisan batuan</li> </ol>
PALEOGEN	Formasi Worawari	Populasi 1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>(R_v + G_v)</math> : Jumlah fragment batuan vulkanik + gelas vulkanik</li> </ol>

Pembagian Formasi Merawu menjadi bagian bawah dan atas mengacu pada hasil penelitian oleh Pusat Survei Geologi (Bachri dkk., 2008) yang menyatakan bahwa bagian bawah dan atas formasi tersebut menunjukkan variasi perbedaan fasies. Bagian bawah Formasi Merawu disebut anggota batulumpur karena didominasi oleh batulumpur (batulempung dan batulanau), sedangkan bagian atasnya disebut anggota batupasir karena didominasi oleh batupasir.

## 2. Peran Aneka Variabel

Variabel-variabel yang akan digunakan dalam analisis kuantitatif ini terdiri atas (1) variabel analisis petrografi dan (2) variabel-variabel dari hasil pengukuran stratigrafi. Variabel dari analisis petrografi adalah material penyusun batuan asal vulkanik, yaitu fragmen batuan vulkanik ( $R_v$ ) + gelas vulkanik ( $G_v$ ). Ukuran yang

dipakai dalam variabel analisis petrografi adalah persentase volume. Sementara itu, dari hasil pengukuran stratigrafi akan digunakan variabel-variabel berupa (1) rasio pasir/lempung, (2) frekuensi lapisan, dan (3) tebal rata-rata lapisan. Makna dari seluruh variabel tersebut dapat dijelaskan lebih lanjut sebagai berikut:

**a. Jumlah material penyusun asal vulkanik ( $R_v + G_v$ )**

Willian (2003) dalam studi batuan asal (*provenance*) batupasir di Semenanjung Antartika menyatakan bahwa kompleks akrasi Kelompok Lemay didominasi oleh arkos, yang berasal dari rombakan tepian benua dengan beberapa lajur batupasir vulkanolitik yang mencerminkan episode magmatisme busur vulkanik. Sementara litharenit vulkanik yang berumur lebih muda (180 jtl) dihasilkan oleh rombakan kaldera silisik. Lebih dari itu dijumpai secara melimpah fragmen batuan dasitan sampai andesitan pada Formasi Latady yang berumur lebih muda (160–145 jtl) yang berasal dari rombakan busur vulkanik yang relatif seumur. Berdasarkan penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa batupasir litharenit dengan penyusun material asal vulkanik mempunyai batuan asal (*provenance*) batuan vulkanik pula, yang berasal dari busur vulkanik.

Batuan sedimen di daerah penelitian mengandung fragmen batuan vulkanik ( $R_v$ ) serta gelas vulkanik ( $G_v$ ) yang keduanya merupakan indikasi bahwa batuan asal (*provenance*) batuan sedimen yang menjadi populasi objek penelitian mempunyai *provenance* utama batuan vulkanik. Semakin banyak kandungan ( $R_v + G_v$ ) dalam batuan sedimen menunjukkan semakin banyak batuan vulkanik sebagai batuan asal, dan ini mengindikasikan latar belakang kegiatan vulkanisme yang semakin aktif. Sementara itu, kristal pada umumnya sudah mengalami pelapukan sehingga sulit dibedakan antara kristal dari batuan vulkanik dengan kristal dari

batuan lain. Oleh karena itu, variabel yang digunakan untuk melihat kelimpahan batuan vulkanik sebagai batuan asal adalah fragmen batuan vulkanik dan gelas vulkanik.

#### **b. Rasio Pasir/Lempung ( $R_{sc}$ )**

Di dunia perminyakan, istilah *sand/shale ratio* lazim digunakan untuk menyatakan nilai rasio ketebalan pasir/lempung yang berarti perbandingan antara jumlah ketebalan semua lapisan berbutir pasir dan yang lebih kasar (batuan klastika kasar) terhadap jumlah ketebalan lapisan berukuran lanau dan lempung (batuan klastika halus). Semakin besar nilai rasio pasir/lempung menunjukkan semakin besar energi arus di dalam lingkungan pengendapan. Perubahan nilai variabel ini menunjukkan perubahan lingkungan pengendapan yang boleh jadi diakibatkan oleh kegiatan tektonik.

#### **c. Frekuensi Lapisan Batuan ( $F_b$ )**

Frekuensi lapisan adalah jumlah lapisan batuan sedimen dalam setiap panjang segmen kolom stratigrafi tertentu, yang diukur secara vertikal pada penampang stratigrafi terukur, yang dalam hal ini digunakan interval lima meter. Penetapan interval lima meter didasarkan pada nilai minimum panjang interval yang bersifat isotropi sehingga variabel-variabel perlapisan batuan sedimen mempunyai simpangan baku kecil sehingga verifikasi hipotesis akan menjadi teliti. Semakin banyak jumlah perlapisan dalam penampang lima meter berarti semakin sering terjadi perubahan litologi secara vertikal, dan ini menunjukkan kondisi tektonik yang tidak stabil atau aktif. Hal ini mengacu pada pengertian tentang endapan *flysch* yang merupakan endapan sin-orogenik di laut dalam, yang terdiri atas perselingan tipis-tipis batulumpur dan batupasir, dan diendapkan pada lingkungan perbatasan lempeng-lempeng yang bertumbukan. Sedimen tersebut berasal dari pegu-

nungan yang terangkat, dan diendapkan pada sumbu cekungan samudra (Anonim, 2011). Dengan demikian, ciri-ciri sedimen yang menyerupai tipe *flysch* dapat diartikan berhubungan dengan tektonik aktif. Oleh karenanya, perlapisan tipis-tipis batulumpur dan batupasir mengindikasikan tektonik yang aktif, semakin tipis-tipis perlapisan dalam perselingan batulumpur dan batupasir mengindikasikan semakin aktifnya kegiatan tektonik pada waktu pengendapannya sehingga fenomena perubahan lingkungan terjadi secara cepat dan berulang.

#### **d. Ketebalan Rata-Rata Lapisan Batuan ( $T_{ab}$ )**

Semakin tinggi frekuensi lapisan menunjukkan semakin banyaknya keberadaan lapisan batuan pada suatu panjang segmen penampang vertikal. Semakin banyaknya perlapisan dalam suatu satuan panjang vertikal tertentu menunjukkan semakin tipis ketebalan rata-rata lapisan. Dengan demikian, semakin tipisnya tebal rata-rata lapisan juga menunjukkan semakin sering terjadi perubahan fasies secara vertikal sebagai indikasi kehadiran kegiatan tektonik yang aktif atau tidak stabil.

### **3. Kerangka Pemikiran**

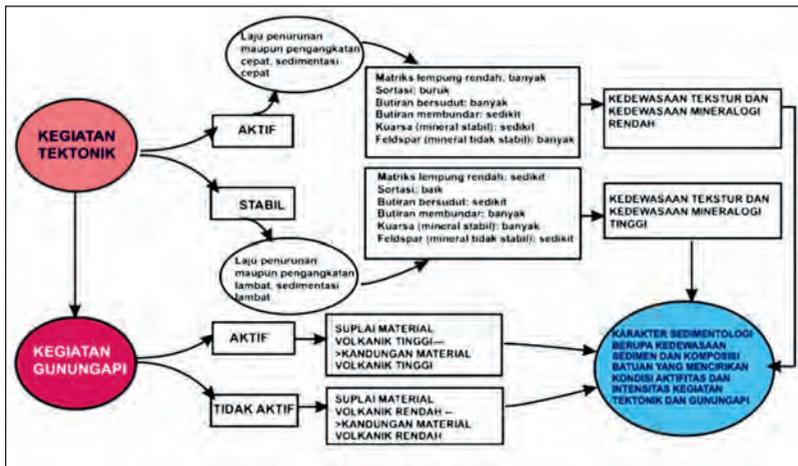
Daerah penelitian terletak di kawasan yang secara tektonik dan kegunungapian cukup aktif sehingga faktor kegiatan tektonik dan vulkanisme secara sendiri-sendiri ataupun secara bersama-sama dapat berperan penting dalam pembentukan karakteristik sedimentologi (Gambar 3.1).

Suatu kegiatan tektonik mungkin akan direspons oleh perubahan lingkungan pengendapan yang dicirikan oleh terbentuknya fasies sedimen tertentu. Fasies tertentu ini akan menunjukkan sifat atau karakteristik sedimentologi tertentu, misal dalam ciri komposisi mineralogi, bentuk butiran, pilahan, tekstur, struktur sedimen,

tebal berlapisan, rasio butiran kasar dan halus, dan lain sebagainya. Sementara itu, kegiatan vulkanisme secara sendiri mungkin juga mempunyai peran yang sama terhadap proses pembentukan karakteristik sedimentologi tersebut. Berbagai kemungkinan yang terjadi sebagai respons atas kegiatan tektonik dan gunung api tersebut kemudian dimanifestasikan dalam bentuk hipotesis yang akan diverifikasi melalui beberapa uji statistik.

Kegiatan tektonik sendiri dalam teori tektonik lempeng dianggap sebagai faktor penyebab pembentukan gunung api di daerah busur kepulauan sehingga sebaran gunung api di Indonesia dikontrol oleh lajur tunjangan (Katili, 1975; 1989; Hamilton, 1979). Namun, setelah gunung api terbentuk, kegiatan gunung api selanjutnya dapat terjadi, baik dipicu maupun tidak oleh kegiatan tektonik, yang dinyatakan sebagai garis putus-putus pada Gambar 3.1.

Intensitas kegiatan tektonik berhubungan erat dengan laju gerakan lempeng terutama kegiatan tumbukan antarlempeng.



Sumber: Bachri (2011)

**Gambar 3.1** Hubungan Kegiatan Tektonik dan Vulkanisme terhadap Karakteristik Sedimentologi

Kegiatan tektonik yang kuat akan meningkatkan laju pengangkatan di daerah batuan sumber (*provenance*). Semakin tinggi elevasi daerah batuan sumber akan mengakibatkan proses erosi lebih kuat sehingga pasokan sedimen berlimpah yang berakibat proses sedimentasi juga cepat. Proses sedimentasi yang cepat tidak akan memungkinkan terjadinya pemilahan (*sorting*) yang sempurna sehingga sedimen yang dihasilkan akan cenderung mempunyai kedewasaan rendah, dan begitu sebaliknya bila proses erosi dan sedimentasi lambat. Di samping pengangkatan, kegiatan tektonik juga dapat ditandai oleh kejadian penurunan dasar cekungan (*subsidence*) sehingga lingkungan menjadi lebih dalam. Kombinasi antara kecepatan penurunan/pengangkatan dasar cekungan, tinggi/rendahnya pasokan sedimen, dan naik/turunnya permukaan laut global akan menentukan apakah lingkungan menjadi lebih dalam atautkah menjadi lebih dangkal.

Pada kondisi tektonik yang stabil maka elevasi daerah batuan asal akan semakin menurun, dan berakibat proses erosi lemah yang berakibat menurunnya pasokan sedimen semakin rendah. Bila hal ini berlangsung lama maka akan menghasilkan kedewasaan sedimen yang sangat tinggi (*supermature*) yang ditandai oleh kebulunan butir yang lebih sempurna, keseragaman ukuran butir yang tinggi, tidak dijumpainya matriks lempung, serta dominasi mineral-mineral stabil (Folk, 1980).

Aktivitas gunung api pada dasarnya juga berperan pada laju suplai material yang diendapkan ke dalam cekungan. Semakin tinggi intensitas kegiatan gunung api, atau semakin dekat dengan pusat kegiatan gunung api, maka pasokan sedimen yang berasal dari material vulkanik juga semakin tinggi, serta semakin kasar. Semakin tinggi pasokan material-material vulkanik tadi pada dasarnya akan menghasilkan endapan yang kurang terpilah, banyak

mengandung matriks ataupun penyusun kurang stabil, seperti felspar dan fragmen batuan yang berbentuk relatif runcing. Dengan kata lain, semakin tinggi kegiatan gunung api, akan memberikan komposisi dan tekstur batuan sedimen yang kurang dewasa.

#### **4. Kerangka Penalaran**

Pada Sub-Zaman Paleogen mulai terjadi orogenesis sebagai akibat peristiwa tunjaman Lempeng Indo-Australia di bawah Lempeng Eurasia bagian tenggara, yang diikuti oleh kegiatan gunung api di daerah Pulau Jawa pada umumnya, atau di daerah Banjarnegara dan sekitarnya pada khususnya, sebagaimana ditunjukkan oleh kehadiran material-material vulkanik pada batuan Paleogen Serayu Utara/Formasi Worawari. Pada awal orogenesis ini, terjadi pengendapan runtunan sedimen tipe *flysch* yang didominasi oleh batupasir halus, batulanau, dan batulempung. Kegiatan tektonik meningkat pada Sub-Zaman Neogen, diikuti peningkatan kegiatan gunung api yang puncaknya pada Miosen Akhir ditandai dengan pembentukan Formasi Kumbang yang hampir secara keseluruhan terdiri atas batuan gunung api, seperti lava dan breksi. Oleh karena itu, perkembangan stratigrafi dan lingkungan pengendapan di Cekungan Serayu yang secara fisiografi juga disebut bagian tengah Pegunungan Serayu Utara (van Bemmelen, 1949), sangat dipengaruhi oleh suplai material vulkanik. Kombinasi antara kecepatan penurunan dasar cekungan dan suplai sedimen atau material vulkaniklastik selama Paleogen-Neogen sangat memengaruhi ketebalan sedimen pengisi cekungan dan perubahan lingkungan pengendapan di daerah Banjarnegara, Purbalingga dan sekitarnya.

Pada Sub-Zaman Paleogen, terjadi kegiatan gunung api yang menyebabkan terjadinya beberapa lapisan batuan gunung api dalam batuan Paleogen (Bachri dkk., 2007). Pada akhir Paleogen

terjadi pengangkatan dan setelah itu pada awal Miosen Awal terjadi fase genang laut yang ditandai oleh pengendapan bagian bawah Formasi Merawu pada lingkungan laut dangkal hingga dataran lumpur (*mud-flat*) serta diikuti pengendapan bagian atas Formasi Merawu pada Miosen Tengah di lingkungan dataran pasir (*sand-flat*) (Bachri dkk., 2008).

Selanjutnya, pada awal Miosen Akhir hingga Pliosen Awal, terjadi peningkatan kegiatan tektonik yang menyebabkan laju penurunan dasar cekungan relatif lebih cepat dibandingkan dengan laju sedimentasi sehingga terjadi pendalaman lingkungan pengendapan, yang diikuti oleh pembentukan fasies turbidit Formasi Penyatan (berposisi stratigrafi setara dengan Formasi Halang). Seiring dengan itu diduga telah terjadi kegiatan gunung api yang lebih aktif dari sebelumnya, yang menyebabkan suplai material vulkanik sangat tinggi, sampai terjadi proses susut laut pada akhir pembentukan Formasi Penyatan. Kegiatan gunung api yang sangat tinggi ini ditandai dengan pembentukan batuan gunung api Formasi Kumbang di daerah proksimal, sedangkan ke arah distal terbentuk Formasi Penyatan yang didominasi oleh sedimen klastis vulkanik.

Episod tektonik selanjutnya diduga dimulai pada akhir Pliosen Awal, bersamaan dengan pembentukan Formasi Tapak dan Kalibiuk yang kemungkinan dipengaruhi oleh kegiatan tektonik yang kurang aktif, dengan kegiatan gunung api yang relatif lemah pula. Perubahan-perubahan baik tingkat aktivitas tektonik dan gunung api selama Paleogen ataupun Neogen diduga telah menyebabkan perubahan-perubahan kondisi lingkungan pengendapan, yang direspons oleh perbedaan karakteristik sedimentologi pada masing-masing satuan litostratigrafi atau fasies batuan sedimen yang terbentuk.

## B. Uji Statistik dan Hipotesis

### 1. Uji Persyaratan Analisis

Uji persyaratan analisis meliputi uji normalitas dan uji homogenitas varian. Uji normalitas sampel dari setiap populasi dimaksudkan untuk mengetahui apakah variabel yang diteliti berdistribusi normal atau tidak, karena untuk melakukan analisis parametrik diperlukan data sampel berdistribusi normal (Rosalina, 2005). Hal ini untuk mengetahui apakah sampel yang digunakan cukup representatif mewakili suatu populasi sehingga hasil penelitian dapat digeneralisasikan pada populasi. Salah satu metode yang dapat digunakan misalnya dengan perangkat lunak *Statistica*, yaitu dengan menggambarkan bentuk histogram *raw residual variable* dan garis *prob-plot*. Untuk distribusi normal akan tampak histogram berbentuk bukit setangkup, sedangkan pada garis *prob-plot* tampak sebaran data di sekitar garis diagonal. Di samping itu, uji normalitas juga dapat dilakukan dengan menggunakan uji *Liliefors* pada taraf signifikansi tertentu.

Uji homogenitas dilakukan untuk memastikan bahwa kelompok data berasal dari dua populasi yang homogen yang akan diuji banding atau beda. Uji homogenitas matriks varian–kovarian multivariat ini dilakukan pada kelompok-kelompok sampel yang seluruhnya melibatkan variabel-variabel karakteristik sedimentologi, seperti yang telah dibahas di depan.

### 2. Uji Beda

Uji beda Mutivariat 2 Kelompok (Uji  $T^2$ ) atau metode *Hoteling* dimaksudkan untuk menguji hipotesis yang menyatakan ada perbedaan nilai sekelompok variabel yang diuji, yaitu untuk mengetahui signifikansi kesamaan atau perbedaan multivariat karakteristik

sedimentologi pada dua kelompok atau populasi yang berbeda, sebagai keterukuran pengaruh suatu faktor terhadap populasi sedimen yang diuji. Jika ternyata ada perbedaan, dilanjutkan dengan menguji masing-masing subhipotesisnya, atau menguji variabel mana yang berbeda dengan pengujian univariat satu arah yang menggunakan metode pengujian  $t$  hitung.

### 3. Korelasi dan Regresi Linier Sederhana

Uji statistik ini bertujuan untuk mengetahui hubungan linier dua variabel dalam satu populasi yang ditunjukkan oleh hasil verifikasi nilai koefisien korelasinya, dan mengetahui seberapa kuat hubungan tersebut. Adapun uji statistik yang akan digunakan dalam pembahasan ini tersaji dalam Tabel 3.2.

## C. Pengujian Hipotesis

Pengujian hipotesis/subhipotesis ini dilakukan untuk mengetahui respons karakteristik satuan litostratigrafi atas kegiatan gunung api dan tektonik melalui uji statistik dalam memverifikasi respons tersebut berdasarkan variabel-variabel sebagai berikut: (1) hasil analisis petrografi, yaitu variabel jumlah penyusun batuan asal vulkanik berupa jumlah fragmen batuan vulkanik dan gelas vulkanik ( $R_v + G_v$ ), dan (2) variabel perlapisan yang terdiri atas rasio pasir/lempung ( $R_{sc}$ ), frekuensi lapisan ( $F_b$ ), dan ketebalan rata-rata lapisan ( $T_{ab}$ ). Riset ini memverifikasi data variabel-variabel yang mewakili fenomena facies sebagai karakteristik litologi perlapisan batuan dari Formasi W, Formasi M, dan Formasi P selaku objek riset, yang sekaligus merupakan produk dari interaksi peristiwa mekanisme kerja tektonisme dan vulkanisme di cekungan Serayu yang melatarbelakangi proses pengendapan ketiga formasi tersebut. Hasil pengujian akan diketahui evolusi kegiatan tektonik dan gunung api dari populasi yang paling tua hingga yang paling muda. Kesimpulan

**Tabel 3.2** Uji Statistik yang Digunakan dalam Pembahasan

No (1)	Hipotesis/Subhipotesis (2)	Populasi (3)	Variabel (4)	Uji Statistik (5)	Tujuan (6)
1	Terdapat perbedaan jumlah penyusun asal vulkanik antara Formasi Worawari dengan Formasi Merawu	Formasi Worawari & Formasi Merawu	$R_v$ & $G_v$	$T^2$ <i>Hotelling</i>	Mengetahui apakah terdapat perbedaan nilai $R_v$ dan $G_v$ pada kedua populasi karena perbedaan intensitas kegiatan gunung api.
1.1	Terdapat perbedaan fragmen batuan vulkanik ( $R_v$ ) antara populasi Formasi Worawari dengan Formasi Merawu	Formasi Worawari & Formasi Merawu	$R_v$	Uji beda rata-rata independen	Mengetahui apakah terdapat perbedaan nilai $R_v$ pada kedua populasi karena perbedaan intensitas kegiatan gunung api.
1.2	Terdapat perbedaan fragmen gelas vulkanik ( $G_v$ ) antara populasi Formasi Worawari dengan Formasi Merawu	Formasi Worawari & Formasi Merawu	$G_v$	Uji beda rata-rata independen	Mengetahui apakah terdapat perbedaan nilai $G_v$ pada kedua populasi karena perbedaan intensitas kegiatan gunung api.
1.3	Terdapat perbedaan penyusun asal vulkanik ( $R_v + R_g$ ) antara populasi Formasi Worawari dengan Formasi Merawu	Formasi Worawari & Formasi Merawu	$(R_v + G_v)$	Uji beda rata-rata independen	Mengetahui apakah terdapat perbedaan nilai $(R_v + G_v)$ pada kedua populasi karena perbedaan intensitas kegiatan gunung api.
2	Terdapat perbedaan jumlah penyusun asal vulkanik antara Formasi Penyatatan dengan Formasi Merawu	Formasi Penyatatan & Formasi Merawu	$R_v$ & $G_v$	$T^2$ <i>Hotelling</i>	Mengetahui apakah terdapat perbedaan nilai $R_v$ dan $G_v$ pada kedua populasi karena perbedaan intensitas kegiatan gunung api.
2.1	Terdapat perbedaan fragmen batuan vulkanik ( $R_v$ ) antara populasi Formasi Penyatatan dengan Formasi Merawu	Formasi Penyatatan & Formasi Merawu	$R_v$	Uji beda rata-rata independen	Mengetahui apakah terdapat perbedaan nilai $R_v$ pada kedua populasi karena perbedaan intensitas kegiatan gunung api.
2.2	Terdapat perbedaan fragmen gelas vulkanik ( $G_v$ ) antara populasi Formasi Penyatatan dengan Formasi Merawu.	Formasi Penyatatan & Formasi Merawu	$G_v$	Uji beda rata-rata independen	Mengetahui apakah terdapat perbedaan nilai $G_v$ pada kedua populasi karena perbedaan intensitas kegiatan gunung api.

No (1)	Hipotesis/Subhipotesis (2)	Populasi (3)	Variabel (4)	Uji Statistik (5)	Tujuan (6)
2.3	Terdapat perbedaan penyusun asal vulkanik ( $R_v + G_v$ ) antara populasi Formasi Penyatatan dengan Formasi Merawu.	Formasi Penyatatan & Formasi Merawu	$(R_v + G_v)$	Uji beda rata-rata independen	Mengetahui apakah terdapat perbedaan nilai ( $R_v + G_v$ ) pada kedua populasi karena perbedaan intensitas kegiatan gunung api.
3	Terdapat perbedaan signifikan karakteristik fasies sedimen antara anggota batulumpur dari Formasi Merawu vs Formasi Penyatatan.	1. anggota batulumpur dari Formasi Merawu 2. Formasi Penyatatan	1. Rsc 2. $F_b$ 3. $T_{ab}$	$T^2$ <i>Hotelling</i>	Mengetahui apakah terdapat perbedaan nilai $R_c$ , $F_b$ dan $T_{ab}$ pada kedua populasi karena perbedaan intensitas kegiatan tektonik.
3.1.	Terdapat perbedaan signifikan karakteristik fasies sedimen komponen $R_v$ (rasio pasir/lempung) antara anggota batulumpur dari Formasi Merawu vs Formasi Penyatatan.	-sda-	Rasio pasir/lem-pung ( $R_{sc}$ )	Uji beda rata-rata independen	Mengetahui apakah terdapat perbedaan nilai $R_c$ pada kedua populasi karena perbedaan intensitas kegiatan tektonik.
3.2	Terdapat perbedaan signifikan frekuensi lapisan antara anggota batulumpur dari Formasi Merawu vs Formasi Penyatatan akibat perbedaan aktivitas tektonik.	-sda-	Frekuensi Lapisan ( $F_p$ )	Uji beda rata-rata independen	Mengetahui apakah terdapat perbedaan nilai $F_b$ pada kedua populasi karena perbedaan intensitas kegiatan tektonik.
3.3	Terdapat perbedaan signifikan karakteristik fasies sedimen komponen $T_{ab}$ (tebal rata-rata lapisan) antara anggota batulumpur dari Formasi Merawu vs Formasi Penyatatan akibat perbedaan aktivitas tektonik.	-sda-	Tabal rata-rata lapisan ( $T_{ab}$ )	Uji beda rata-rata independen	Mengetahui apakah terdapat perbedaan nilai $T_{ab}$ pada kedua populasi karena perbedaan intensitas kegiatan tektonik.

No (1)	Hipotesis/Subhipotesis (2)	Populasi (3)	Variabel (4)	Uji Statistik (5)	Tujuan (6)
4	Terdapat perbedaan signifikan karakteristik fasies sedimen antara anggota batupasir Formasi Merawu vs Formasi Penyatan, meliputi variabel $R_{sc}$ (rasio pasir/lempung), $F_b$ (frekuensi lapisan), $T_{ab}$ (tebal rata-rata lapisan).	-sda-	Rasio pasir/lem-pung ( $R_{sc}$ )	Uji beda rata-rata independen	Mengetahui apakah terdapat perbedaan nilai $R_{sc}$ pada kedua populasi karena perbedaan energi lingkungan pengendapan.
4.1	Terdapat perbedaan signifikan karakteristik fasies sedimen komponen $R_{sc}$ (rasio pasir/lempung) antara anggota batupasir dari Formasi Merawu vs Formasi Penyatan akibat perbedaan energi lingkungan pengendapan.	-sda-	Rasio pasir/lem-pung ( $R_{sc}$ )	Uji beda rata-rata independen	Mengetahui apakah terdapat perbedaan nilai $R_{sc}$ pada kedua populasi karena perbedaan energi lingkungan pengendapan.
4.2	Terdapat perbedaan signifikan karakteristik fasies sedimen komponen $F_b$ (frekuensi lapisan) antara anggota batupasir dari Formasi Merawu vs Formasi Penyatan akibat perbedaan aktivitas tektonik.	-sda-	Frekuensi lapisan ( $F_b$ )	Uji beda rata-rata independen	Mengetahui apakah terdapat perbedaan nilai $F_b$ pada kedua populasi karena perbedaan intensitas kegiatan tektonik.
4.3	Terdapat perbedaan signifikan karakteristik fasies sedimen komponen $T_{ab}$ (tebal rata-rata lapisan) anggota batupasir dari Formasi Merawu vs Formasi Penyatan akibat perbedaan aktivitas tektonik	-sda-	Tebal rata-rata lapisan ( $T_{ab}$ )	Uji beda rata-rata independen	Mengetahui apakah terdapat perbedaan nilai $T_{ab}$ pada kedua populasi karena perbedaan intensitas kegiatan tektonik.

No (1)	Hipotesis/Subhipotesis (2)	Populasi (3)	Variabel (4)	Uji Statistik (5)	Tujuan (6)
5	Terdapat hubungan antara frekuensi lapisan ( $F_b$ ) dan tebal rata-rata lapisan ( $T_{ab}$ ) pada anggota batulumpur dari Formasi Merawu, anggota batupasir dari Formasi Merawu dan pada Formasi Penyatan.				
5.1	Terdapat hubungan antara frekuensi lapisan dengan tebal rara-rata lapisan pada anggota batulumpur dari Formasi Merawu.	Anggota Batulumpur dari Formasi Merawu	1. Frekuensi lapisan ( $F_b$ ) 2. Tebal rata-rata lapisan ( $T_{ab}$ )	Analisis korelasi dan regresi linier sederhana	Mengetahui apakah terdapat hubungan antara nilai $F_b$ dan $T_{ab}$ pada populasi yang sama.
5.2	Terdapat hubungan antara frekuensi lapisan dengan tebal rara-rata lapisan pada anggota batupasir dari Formasi Merawu.	Anggota batupasir dari Formasi Merawu	1. Frekuensi lapisan ( $F_b$ ) 2. Tebal rata-rata lapisan ( $T_{ab}$ )	Analisis korelasi dan regresi linier sederhana	Mengetahui apakah terdapat hubungan antara nilai $F_b$ dan $T_{ab}$ pada populasi yang sama.
5.3	Terdapat hubungan antara frekuensi lapisan dengan tebal rara-rata lapisan pada Formasi Penyatan.	Formasi Penyatan	1. Frekuensi lapisan ( $F_b$ ) 2. Tebal rata-rata lapisan ( $T_{ab}$ )	Analisis korelasi dan regresi linier sederhana	Mengetahui apakah terdapat hubungan antara nilai $F_b$ dan $T_{ab}$ pada populasi yang sama.

Sumber: Modifikasi dari Bachri (2011)

uji merupakan hasil riset tanpa intervensi periset, karena periset hanya membaca hasil keputusan uji tersebut sebagai makna kesimpulan yang muncul atau tersirat dari hasil verifikasi tersebut.

Populasi yang menjadi objek penelitian terdiri atas Formasi Worawari (populasi 1), Anggota Batulumpur, Formasi Merawu (populasi 2), Anggota Batupasir, Formasi Merawu (populasi 3), dan Formasi Penyatan (populasi 4). Meskipun dalam analisis ini terdapat dua faktor, yaitu tektonik dan gunung api, namun kedua faktor tersebut diduga tidak independen, yakni kegiatan tektonik memengaruhi kegiatan gunung api sehingga tidak bisa dilakukan analisis statistik dua arah, namun hanya satu arah.

Hipotesis yang sudah disampaikan di depan terdiri atas lima hipotesis utama (lihat Tabel 3.1) yang masing-masing terdiri atas dua sampai tiga subhipotesis yang memerlukan pengujian statistik. Hipotesis 1 sampai 4 memerlukan pengujian melalui analisis  $T^2$  *Hotelling*, disertai uji beda untuk tiap subhipotesisnya masing-masing. Di samping itu, hipotesis 5 yang terdiri atas 3 subhipotesis yang masing-masing perlu diuji secara statistik dengan metode uji korelasi-regresi linier sederhana.

## 1. Contoh Pengujian Statistik

Untuk penyederhanaan pembahasan dalam buku ini maka pengujian statistik hanya akan ditampilkan satu contoh uji beda (hipotesis 1) dan satu contoh uji korelasi-regresi linier sederhana (hipotesis 5), sedangkan pengujian hipotesis/subhipotesis lainnya hanya akan ditampilkan hasilnya saja. Dalam berbagai buku statistik rumus untuk analisis  $T^2$  *Hotelling*, uji beda, ataupun analisis korelasi-transgresi linier sederhana sudah umum dibicarakan. Dalam hal ini, rumus-rumus yang dipakai dalam pengujian statistik ini mengikuti apa yang disampaikan oleh Kabe (1985), Rancher (1998) dan Rancher (2002).

## 2. Contoh Pengujian Statistik Hipotesis 1

**Hipotesis:** Terdapat perbedaan jumlah penyusun batuan asal vulkanik antara Formasi Worawari dengan Formasi Merawu karena perbedaan pengaruh kegiatan vulkanisme.

### a. Uji Normalitas Data:

#### 1) *Data Fragmen Batuan Vulkanik ( $R_v$ ) Formasi Worawari*

$H_0$  : Data fragmen batuan vulkanik ( $R_v$ ) Formasi Worawari berdistribusi normal.

$H_1$  : Data fragmen batuan vulkanik ( $R_v$ ) Formasi Worawari berdistribusi tidak normal.

$\alpha = 20\%$

**Statistik Uji:** Lihat Tabel 3.3

Dari tabel 3.3 didapatkan informasi  $D_{Max} = 0.143$ , sedangkan dari tabel Lilliefors didapatkan informasi  $L_{Crit(20\%)} = 0.223$ .  $D_{Max}$  didapat dari nilai mutlak  $F(Z_i) - S(Z_i)$  yang paling besar, sedangkan  $L_{Crit(20\%)}$  didapat dari Tabel Lilliefors.  $Z_i$  adalah nilai baku ke  $i$ , sedangkan angka baku adalah nilai yang menyatakan perbandingan antara selisih data dengan nilai rata-ratanya berbanding simpangan baku data tersebut. Sementara  $F(Z_i)$  adalah peluang distribusi normal dari angka baku tersebut, sedangkan  $S(Z_i)$  dihitung nomor urut  $i$  per jumlah data.

#### **Kriteria Uji:**

Tolak  $H_0$  apabila  $D_{Max} \geq L_{Crit(20\%)}$ , terima dalam hal lainnya. Dengan membandingkan kedua nilai tersebut, dapat diambil keputusan untuk menerima  $H_0$ . Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa data fragmen batuan vulkanik ( $R_v$ ) Formasi Worawari berdistribusi normal.

**Tabel 3.3** Nilai  $|F(Z_i) - S(Z_i)|$  fragmen batuan vulkanik Formasi Worawari.

No Sampel	No Urut	Data	Zi	F(Zi)	S(Zi)	F(Zi) - S(Zi)
3	1	9	-1.5021	0.0665	0.1	0.0335
4	2	12	-1.2056	0.1140	0.2	0.0860
2	3	14	-1.0080	0.1567	0.3	0.1433
11	4	23	-0.1186	0.4528	0.4	0.0528
1	5	24	-0.0198	0.4921	0.5	0.0079
5	6	25	0.0791	0.5315	0.6	0.0685
8	7	31	0.6720	0.7492	0.7	0.0492
8	8	31	0.6720	0.7492	0.7	0.0492
6	9	32	0.7708	0.7796	0.9	0.1204
7	10	41	1.6602	0.9516	1.0	0.0484

## 2) *Data komponen fragmen batuan vulkanik ( $R_v$ )*

### *Formasi Merawu*

$H_0$ : Data fragmen batuan vulkanik ( $R_v$ ) Formasi Merawu berdistribusi normal.

$H_1$ : Data fragmen batuan vulkanik ( $R_v$ ) Formasi Merawu tidak berdistribusi normal.

$\alpha = 20\%$

**Statistik Uji:** Lihat Tabel 3.4

Dari tabel 3.4 didapatkan informasi  $D_{Max} = 0.162$ , sedangkan dari tabel Lilliefors didapatkan informasi  $L_{Crit(20\%)} = 0.215$ .

### **Kriteria Uji:**

Tolak  $H_0$  apabila  $D_{Max} \geq L_{Crit(20\%)}$ , terima dalam hal lainnya. Dengan membandingkan kedua nilai tersebut, dapat diambil keputusan untuk menerima  $H_0$ . Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa data fragmen batuan vulkanik ( $R_v$ ) Formasi Merawu berdistribusi normal.

**Tabel 3.4** Nilai  $|F(Z_i) - S(Z_i)|$  fragmen batuan vulkanik Formasi Merawu

No Sampel	No Urut	Data	Zi	F(Zi)	S(Zi)	F(Zi) - S(Zi)
11	1	77	-1.2145	0.1123	0.0909	0.0214
6	2	78	-1.1796	0.1191	0.1818	0.0627
5	3	86	-0.9005	0.1839	0.2727	0.0888
10	4	94	-0.6215	0.2671	0.3636	0.0965
9	5	103	-0.3076	0.3792	0.4545	0.0753
8	6	108	-0.1332	0.4470	0.5455	0.0984
3	7	110	-0.0634	0.4747	0.6364	0.1616
4	8	128	0.5644	0.7138	0.7273	0.0135
2	9	132	0.7039	0.7593	0.8182	0.0589
7	10	153	1.4364	0.9246	0.9091	0.0155
1	11	161	1.7155	0.9569	1	0.0431

### 3) *Data gelas vulkanik ( $G_v$ ) Formasi Worawari*

$H_0$ : Data gelas vulkanik ( $G_v$ ) Formasi Worawari berdistribusi normal.

$H_1$ : Data gelas vulkanik ( $G_v$ ) Formasi Worawari berdistribusi tidak normal.

$\alpha = 20\%$

**Statistik Uji:** Lihat Tabel 3.5

Dari tabel 3.5 didapatkan informasi  $D_{Max} = 0.173$ , sedangkan dari tabel Lilliefors didapatkan informasi  $L_{Crit(20\%)} = 0.223$ .

#### **Kriteria Uji:**

Tolak  $H_0$  apabila  $D_{Max} \geq L_{Crit(a)}$ , terima dalam hal lainnya. Dengan membandingkan kedua nilai tersebut, dapat diambil keputusan untuk menerima  $H_0$ . Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa data gelas vulkanik ( $G_v$ ) Worawari berdistribusi normal.

**Tabel 3.5** Nilai  $|F(Z_i) - S(Z_i)|$  gelas vulkanik Formasi Worawari.

No Sampel	No Urut	Data	Zi	F(Zi)	S(Zi)	F(Zi) - S(Zi)
8	1	61	-1.1815	0.1187	0.1	0.0187
1	2	62	-1.0899	0.1379	0.2	0.0621
7	3	64	-0.9067	0.1823	0.3	0.1177
9	4	67	-0.6320	0.2637	0.4	0.1363
6	5	69	-0.4488	0.3268	0.5	0.1732
2	6	74	0.0092	0.5037	0.6	0.0963
11	7	82	0.7419	0.7709	0.7	0.0709
5	8	82	0.7419	0.7709	0.7	0.0709
4	9	87	1.1998	0.8849	0.9	0.0151
3	10	91	1.5662	0.9413	1	0.0587

#### 4) *Data gelas vulkanik ( $G_v$ ) Formasi Merawu*

$H_0$ : Data gelas vulkanik ( $G_v$ ) Formasi Merawu berdistribusi normal.

$H_1$ : Data gelas vulkanik ( $G_v$ ) Formasi Merawu berdistribusi tidak normal.

$\alpha = 20\%$

**Statistik Uji:** Lihat Tabel 3.6

Dari tabel 3.6 didapatkan informasi  $D_{Max} = 0.149$ , sedangkan dari tabel Lilliefors didapatkan informasi  $L_{Crit(20\%)} = 0.215$ .

#### **Kriteria Uji:**

Tolak  $H_0$  apabila  $D_{Max} \geq L_{Crit(a)}$ , terima dalam hal lainnya. Dengan membandingkan kedua nilai tersebut, dapat diambil keputusan untuk menerima  $H_0$ . Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa data gelas vulkanik ( $G_v$ ) Formasi Merawu berdistribusi normal.

**Tabel 3.6** Nilai  $|F(Z_i) - S(Z_i)|$  gelas vulkanik Formasi Merawu.

No Sampel	No Urut	Data	Zi	F(Zi)	S(Zi)	F(Zi) - S(Zi)
7	1	20	-1.7281	0.0420	0.0909	0.0489
1	2	25	-1.5187	0.0644	0.1818	0.1174
2	3	36	-1.0582	0.1450	0.2727	0.1277
8	4	62	0.0305	0.5121	0.3636	0.1485
4	5	64	0.1142	0.5455	0.4545	0.0909
3	6	65	0.1561	0.5620	0.5455	0.0166
9	7	71	0.4073	0.6581	0.6364	0.0217
5	8	76	0.6166	0.7313	0.7273	0.0040
6	9	83	0.9097	0.8185	0.8182	0.0003
10	10	83	0.9097	0.8185	0.8182	0.0003
11	11	89	1.1609	0.8772	1	0.1228

### 5) *Data penyusun batuan asal vulkanik ( $R_v + G_v$ )*

#### *Formasi Worawari*

$H_0$ : Data penyusun batuan asal vulkanik ( $R_v + G_v$ ) Formasi Worawari berdistribusi normal

$H_1$ : Data penyusun batuan asal vulkanik ( $R_v + G_v$ ) Formasi Worawari berdistribusi tidak normal.

$\alpha = 20\%$

**Statistik Uji:** Lihat Tabel 3.7

Dari tabel 3.7 didapatkan informasi  $D_{Max} = 0.118$ , sedangkan dari tabel Lilliefors didapatkan informasi  $L_{Crit(20\%)} = 0.223$ .

#### **Kriteria Uji:**

Tolak  $H_0$  apabila  $D_{Max} \geq L_{Crit(a)}$ , terima dalam hal lainnya. Dengan membandingkan kedua nilai tersebut, dapat diambil keputusan untuk menerima  $H_0$ . Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa data penyusun asal vulkanik ( $R_v + G_v$ ) Formasi Worawari berdistribusi normal.

**Tabel 3.7** Nilai  $|F(Z_i) - S(Z_i)|$  gelas vulkanik Formasi Worawari.

No Sampel	No Urut	Data	Zi	F(Zi)	S(Zi)	F(Zi) - S(Zi)
1	1	86	-1.6693	0.0475	0.1	0.0525
2	2	88	-1.3933	0.0818	0.2	0.1182
8	3	92	-0.8415	0.2000	0.3	0.1000
9	4	98	-0.0138	0.4945	0.4	0.0945
4	5	99	0.1242	0.5494	0.5	0.0494
3	6	100	0.2621	0.6034	0.6	0.0034
6	7	101	0.4001	0.6554	0.7	0.0446
7	8	105	0.9519	0.8294	0.8	0.0294
11	9	105	0.9519	0.8294	0.8	0.0294
5	10	107	1.2278	0.8902	1	0.1098

**6) Data penyusun batuan asal vulkanik ( $R_v + G_v$ )**

**Formasi Merawu**

$H_0$ : Data penyusun batuan asal vulkanik ( $R_v + G_v$ ) Formasi Merawu berdistribusi normal.

$H_1$ : Data batuan penyusun asal vulkanik ( $R_v + G_v$ ) Formasi Merawu berdistribusi tidak normal.

$\alpha = 20\%$

**Statistik Uji:** Lihat Tabel 3.8

Dari tabel 3.8 didapatkan informasi  $D_{Max} = 0.158$ , sedangkan dari tabel Lilliefors didapatkan informasi  $L_{Crit(20\%)} = 0.215$ .

**Kriteria Uji:**

Tolak  $H_0$  apabila  $D_{Max} \geq L_{Crit(a)}$ , terima dalam hal lainnya. Dengan membandingkan kedua nilai tersebut, dapat diambil keputusan untuk menerima  $H_0$ . Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa data materi penyusun batuan asal vulkanik ( $R_v + G_v$ ) Formasi Merawu berdistribusi normal.

**b. Uji Homogenitas Varians–Kovarians (Rancher, 1998, 2002).**

$H_0$ :  $\Sigma_1 = \Sigma_2$ ; Matrik varians kovarians kedua populasi sama

**Tabel 3.8** Nilai  $|F(Z_i) - S(Z_i)|$  penyusun batuan asal vulkanik Formasi Merawu.

No Sampel	No Urut	Data	Zi	F(Zi)	S(Zi)	F(Zi) - S(Zi)
6	1	161	-1.2753	0.1011	0.0909	0.0102
5	2	162	-1.1698	0.1210	0.1818	0.0608
11	3	166	-0.7479	0.2273	0.2727	0.0455
2	4	168	-0.5370	0.2956	0.3636	0.0680
8	5	170	-0.3260	0.3722	0.4545	0.0823
7	6	173	-0.0096	0.4962	0.5455	0.0493
9	7	174	0.0959	0.5382	0.6364	0.0982
3	8	175	0.2014	0.5798	0.7273	0.1475
10	9	177	0.4123	0.6599	0.8182	0.1582
1	10	186	1.3616	0.9133	0.9091	0.0042
4	11	192	1.9944	0.9769	1	0.0231

$H_1: \Sigma_1 \neq \Sigma_2$ ; Matrik varians kovarians kedua populasi tidak sama

$$\alpha = 5\%$$

### Statistik Uji:

Dari data kedua populasi didapatkan info sebagai berikut:

$$S_1 = \begin{bmatrix} \sigma_{11}^2 & \sigma_{12} \\ \sigma_{11}\sigma_{12} & \sigma_{12}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 102.400 & \\ -84.5333 & 119.211 \end{bmatrix}; |S_1| = 5061.3783$$

$$S_2 = \begin{bmatrix} \sigma_{21}^2 & \sigma_{22} \\ \sigma_{21}\sigma_{12} & \sigma_{22}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 821.400 & \\ -651.245 & 570.418 \end{bmatrix}; |S_2| = 44743.01$$

$$S_{pl} = \frac{\sum_{i=1}^k v_i S_i}{\sum_{i=1}^k v_i} = \begin{bmatrix} 481.118 & \\ -382.803 & 356.689 \end{bmatrix}; |S_{pl}| = 25071.3615$$

$$InM = \frac{1}{2} [v_1 In|S_1| + v_2 In|S_2|] - \frac{1}{2} (v_1 + v_2) In|S_{pl}|$$

$$InM = \frac{1}{2} [(10-1) In(5061.3783) + (11-1) In(44743.01)] - \frac{1}{2} (10+11-2) In(25071.3615)$$

$$InM = -4.3043$$

$$-2InM = (-2)(-4.3043) = 8.6087$$

$$C_1 = \left[ \sum_{i=1}^k \frac{i}{v_i} - \frac{1}{\sum_{i=1}^k v_i} \right] \left[ \frac{2p^2 + 3p - 1}{6(k-1)(p+1)} \right]$$

$$= \left[ \left( \frac{1}{9} + \frac{1}{10} \right) - \frac{1}{19} \right] \left[ \frac{2(2)^2 + 3(2) - 1}{6(2-1)(2+1)} \right]$$

$$= 0.114457$$

$$u = -2(1 - c_1) \ln M = (1 - 0.114457)(8.6087) = 7.6234$$

Kita hitung terlebih dahulu:

$$x^2 \left[ \frac{1}{2}(k-1)p(p+1) \right] = x^2 \left[ \frac{1}{2}(2-1)2(2+1) \right]$$

$$= x^2 [6] = 7.8147$$

### Kriteria Uji:

Tolak  $H_0$  apabila nilai  $u \geq x^2 \left[ \frac{1}{2}(k+1)p(p+1) \right]$ , terima dalam hal lainnya. Dengan membandingkan kedua nilai tersebut diambil keputusan untuk menerima  $H_0$ . Dengan demikian, dapat diambil kesimpulan bahwa matriks varians-kovarians kedua populasi sama.

### c. Uji Beda Rata-Rata multivariat ( $T^2$ Hotelling) (Rancher, 1998, 2002)

$H_0: \Sigma_1 = \Sigma_2$ ; Matrik rata-rata kedua populasi sama

$H_1: \Sigma_1 \neq \Sigma_2$ ; Matrik rata-rata kedua populasi tidak sama

$\alpha = 5\%$

### Statistik Uji:

Dari data kedua populasi didapatkan info sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\mathbf{S}_1 &= \begin{bmatrix} \sigma_{11}^2 & \sigma_{12} \\ \sigma_{11}\sigma_{12} & \sigma_{12}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 102.400 & \sigma_{12} \\ -84.5333 & 119.211 \end{bmatrix} \\
\mathbf{S}_2 &= \begin{bmatrix} \sigma_{21}^2 & \sigma_{22} \\ \sigma_{21}\sigma_{12} & \sigma_{22}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 821.400 & \sigma_{22} \\ -651.245 & 570.418 \end{bmatrix} \\
\mathbf{S}_{pl} &= \frac{\sum_{i=1}^k v_i \mathbf{S}_i}{\sum_{i=1}^k v_i} = \begin{bmatrix} 481.118 & \sigma_{pl} \\ -382.803 & 356.689 \end{bmatrix} \\
\bar{\mathbf{x}}_1 &= [24.2 \quad 73.9]; \quad \bar{\mathbf{x}}_2 = [111.8182 \quad 61.2727]
\end{aligned}$$

$$(\bar{\mathbf{x}}_1 - \bar{\mathbf{x}}_2) = \begin{bmatrix} -87.6182 \\ 12.6273 \end{bmatrix}$$

$$(\bar{\mathbf{x}}_1 - \bar{\mathbf{x}}_2)' = [-87.6182 \quad 12.6273]$$

Disebabkan pada pengujian homogenitas varians kovarians didapatkan kesimpulan kedua populasi memiliki varians yang sama, maka statistik uji yang dipergunakan adalah:

$$T^2 = (\bar{\mathbf{x}}_1 - \bar{\mathbf{x}}_2)' \left[ \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \mathbf{S}_{pl} \right]^{-1} (\bar{\mathbf{x}}_1 - \bar{\mathbf{x}}_2)$$

$$T^2 = [-87.6182 \quad 12.6273] \left[ \left( \frac{1}{9} + \frac{1}{10} \right) \begin{bmatrix} 481.118 & \sigma_{pl} \\ -382.803 & 356.689 \end{bmatrix} \right]^{-1} \begin{bmatrix} -87.6182 \\ 12.6273 \end{bmatrix}$$

$$T^2 = 411.161$$

### Kriteria Uji:

Tolak  $H_0$  apabila nilai  $T^2$  hitung  $\geq x_2^2(a)$ , terima dalam hal lainnya. Didapat dari tabel Chi Kuadrat  $x_2^2(5\%) = 5.9915$ . Dengan membandingkan kedua nilai tersebut diambil keputusan untuk menolak  $H_0$ . Dengan demikian, dapat diambil kesimpulan bahwa matriks rata-rata kedua populasi tidak sama.

**d. Uji Homogenitas Varians (Per komponen)**

**1) Uji homogenitas varians fragmen batuan vulkanik ( $R_v$ )**

Statistik Uji:

$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ; varians fragmen batuan vulkanik ( $R_v$ )  
kedua populasi sama

$H_0 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ ; varians fragmen batuan vulkanik ( $R_v$ )  
kedua populasi tidak sama

$\alpha=5\%$

Dari data kedua populasi didapatkan info sebagai berikut:

$$S_1^2 = 102.40; S_2^2 = 821.9636; n_1 = 10; n_2 = 11$$

Karena  $s_2^2 > s_1^2$ , maka statistik uji yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$FHit = \frac{s_2^2}{s_1^2} = \frac{821.9636}{102.40} = 8.0270$$

**Kriteria uji:**

Tolak  $H_0$  apabila  $FHit > F_{(n_1-1, n_2-1); \alpha}$ , terima dalam hal lainnya. Dengan  $n_1 = 10$ ,  $n_2 = 11$  dan taraf nyata 5% didapatkan nilai F kriteria sebesar 3.1373. Dengan membandingkan kedua nilai ini, diambil keputusan untuk menolak  $H_0$ . Dengan demikian, dapat diambil kesimpulan bahwa varians fragmen batuan vulkanik ( $R_v$ ) di kedua populasi tidak sama. Ini berarti pengaruh kegiatan vulkanisme pada kedua populasi tidaklah sama.

## 2) Uji homogenitas varians gelas vulkanik ( $G_v$ )

$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ; varians gelas vulkanik ( $G_v$ ) kedua populasi sama

$H_0 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ ; varians gelas vulkanik ( $G_v$ ) kedua populasi tidak sama

$\alpha=5\%$

### Statistik Uji:

Dari data kedua populasi didapatkan info sebagai berikut:

$$S_1^2 = 119.2111; S_2^2 = 570.4182; n_1 = 10; n_2 = 11$$

Karena  $s_2^2 > s_1^2$ , maka statistik uji yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$F \text{ Hit} = \frac{s_2^2}{s_1^2} = \frac{570.4182}{119.2111} = 4.7849$$

### Kriteria uji:

Tolak  $H_0$  apabila  $F \text{ Hit} > F_{(n_2-1, n_1-1); \alpha}$ , terima dalam hal lainnya. Dengan  $n_1 = 10$ ,  $n_2 = 11$  dan taraf nyata 5% didapatkan nilai  $F_{\text{kriteria}}$  sebesar 3.1373. Dengan membandingkan kedua nilai ini, diambil keputusan untuk menolak  $H_0$ . Dengan demikian, dapat diambil kesimpulan bahwa varians gelas vulkanik ( $G_v$ ) di kedua populasi tidak sama.

3) ***Uji homogenitas varians penyusun batuan asal vulkanik ( $R_v + G_v$ )***

$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ; varians penyusun asal vulkanik ( $R_v + G_v$ )  
kedua populasi sama

$H_0 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ ; varians penyusun asal vulkanik ( $R_v + G_v$ )  
kedua populasi tidak sama

$\alpha = 5\%$

**Statistik Uji:**

Dari data kedua populasi didapatkan info sebagai berikut:

$$S_1^2 = 52.5444; S_2^2 = 89.8909; n_1 = 10; n_2 = 11$$

Karena  $s_2^2 > s_1^2$ , maka statistik uji yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$F_{Hit} = \frac{s_2^2}{s_1^2} = \frac{89.8909}{52.5444} = 1.7108$$

**Kriteria uji:**

Tolak  $H_0$  apabila  $F_{Hit} > F_{(n_2-1, n_1-1); \alpha}$ , terima dalam hal lainnya. Dengan  $n_1 = 10$ ,  $n_2 = 11$  dan taraf nyata 5% didapatkan nilai  $F_{kriteria}$  sebesar 3.1373. Dengan membandingkan kedua nilai ini, diambil keputusan untuk menolak  $H_0$ . Dengan demikian, dapat diambil kesimpulan bahwa varians penyusun asal vulkanik ( $R_v + G_v$ ) di kedua populasi sama.

e. Uji Beda Rata-Rata (Per Komponen)

1) Uji beda rata-rata fragmen batuan vulkanik ( $R_v$ )

$H_0 : \mu_1^2 = \mu_2^2$ ; rata-rata fragmen batuan vulkanik ( $R_v$ )  
kedua populasi sama

$H_0 : \mu_1^2 \neq \mu_2^2$ ; rata-rata fragmen batuan vulkanik ( $R_v$ )  
kedua populasi tidak sama

$\alpha = 5\%$

**Statistik Uji:**

Dari data kedua populasi didapatkan info sebagai berikut:

$$S_1^2 = 102.40; S_2^2 = 821.9636; n_1 = 10; n_2 = 11$$

$$\bar{x}_1 = 24.2; \bar{x}_2 = 111.8182$$

Karena hasil pengujian homogenitas varians menunjukkan varians yang tidak sama maka statistik uji yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$t'_{Hit} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right) + \left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)}} = \frac{24.2 - 111.8182}{\sqrt{\left(\frac{102.40}{10}\right) + \left(\frac{821.9636}{11}\right)}} \\ = -9.506$$

$$t_{Kriteria} = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)t_{n_1-1}\left(1 - \frac{1}{2}\alpha\right) + \left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)t_{n_2-1}\left(1 - \frac{1}{2}\alpha\right)}{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right) + \left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)} \\ = \frac{\left(\frac{102.40}{10}\right)(2.2622) + \left(\frac{821.9636}{11}\right)(2.2281)}{\left(\frac{102.40}{10}\right) + \left(\frac{821.9636}{11}\right)} \\ = 2.2322$$

**Kriteria uji:**

Tolak  $H_0$  apabila nilai mutlak  $t' Hit > t Kriteria$ , terima dalam hal lainnya. Dengan membandingkan kedua nilai ini, diambil keputusan untuk menolak  $H_0$ . Dengan demikian, dapat diambil kesimpulan bahwa rata-rata fragmen batuan vulkanik ( $R_v$ ) di kedua populasi tidak sama.

2) **Uji beda rata-rata fragmen gelas vulkanik ( $G_v$ )**

$H_0 : \mu_1^2 = \mu_2^2$ ; rata-rata gelas vulkanik ( $G_v$ ) kedua populasi sama

$H_0 : \mu_1^2 \neq \mu_2^2$ ; rata-rata fragmen batuan vulkanik ( $G_v$ ) kedua populasi tidak sama

$\alpha=5\%$

**Statistik Uji:**

Dari data kedua populasi didapatkan info sebagai berikut:

$$s_1^2 = 119.2111; s_2^2 = 570.4182; n_1 = 10; n_2 = 11$$

$$\bar{x}_1 = 73.9; \bar{x}_2 = 61.2727$$

Karena hasil pengujian homogenitas varians menunjukkan varians yang tidak sama maka statistik uji yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$t' Hit = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right) + \left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)}} = \frac{73.9 - 61.2727}{\sqrt{\left(\frac{119.2111}{10}\right) + \left(\frac{570.4182}{11}\right)}} = 1.5851$$

$$\begin{aligned}
 t \text{ Kriteria} &= \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right) t_{n_1-1} \left(1 - \frac{1}{2} \alpha\right) + \left(\frac{s_2^2}{n_2}\right) t_{n_2-1} \left(1 - \frac{1}{2} \alpha\right)}{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right) + \left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)} \\
 &= \frac{\left(\frac{119.2111}{10}\right)(2.2622) + \left(\frac{570.4182}{11}\right)(2.2281)}{\left(\frac{119.2111}{10}\right) + \left(\frac{570.4182}{11}\right)} \\
 &= 2.2345
 \end{aligned}$$

**Kriteria uji:**

Tolak  $H_0$  apabila nilai mutlak  $t' \text{ Hit} > t_{\text{kriteria}}$ , terima dalam hal lainnya. Dengan membandingkan kedua nilai ini, diambil keputusan untuk menerima  $H_0$ . Dengan demikian, dapat diambil kesimpulan bahwa rata-rata gelas vulkanik ( $G_v$ ) di kedua populasi sama.

**3) Uji beda rata-rata penyusun batuan asal vulkanik ( $R_v + G_v$ )**

$H_0 : \mu_1^2 = \mu_2^2$ ; rata-rata penyusun asal vulkanik ( $R_v + G_v$ )  
kedua populasi sama

$H_0 : \mu_1^2 \neq \mu_2^2$ ; rata-rata fragmen batuan vulkanik ( $R_v + G_v$ )  
kedua populasi tidak sama

$\alpha = 5\%$

**Statistik Uji:**

Dari data kedua populasi didapatkan info sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 s_1^2 &= 52.5444; s_2^2 = 89.8909; n_1 = 10; n_2 = 11 \\
 \bar{x}_1 &= 98.1; \bar{x}_2 = 173.0909
 \end{aligned}$$

Karena hasil pengujian homogenitas varians menunjukkan varians yang sama maka statistik uji yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$s = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

$$= \sqrt{\frac{(10 - 1)52.5444 + (11 - 1)89.8909}{10 + 11 - 2}} = 8.9470$$

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} = \frac{98.1 - 173.0909}{8.9470 \sqrt{\frac{1}{10} + \frac{1}{11}}}$$

$$= -20.199$$

$$df = n_1 + n_2 - 2 = 10 + 11 - 2 = 19$$

$$t_{\text{Kriteria}} = 2.0930$$

**Kriteria uji:**

Tolak  $H_0$  apabila nilai mutlak  $t_{\text{Hit}} > t_{\text{kriteria}}$ , terima dalam hal lainnya. Dengan membandingkan kedua nilai ini, diambil keputusan untuk menolak  $H_0$ . Dengan demikian, dapat diambil kesimpulan bahwa rata-rata penyusun asal vulkanik ( $R_v + G_v$ ) di kedua populasi tidak sama.

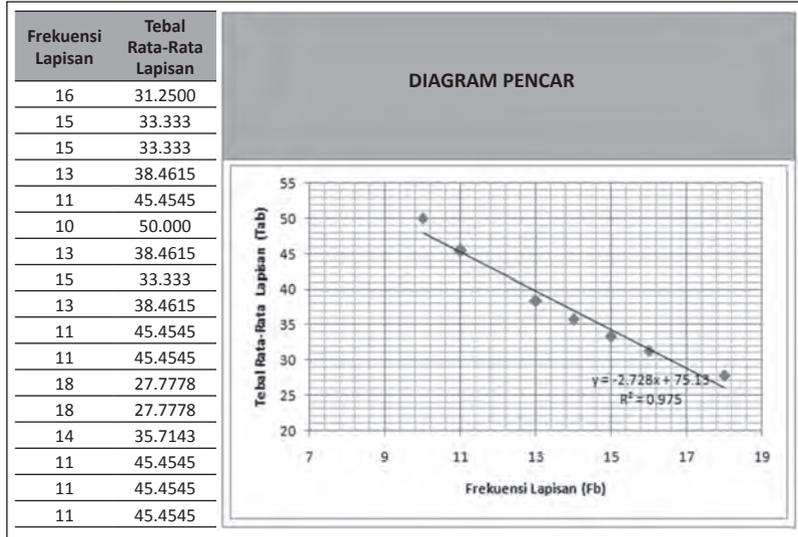
**3. Contoh Pengujian Statistik Hipotesis 5 (Kabe, 1985; Rancher, 2002)**

**Hipotesis:** Terdapat hubungan antara frekuensi lapisan dengan tebal rata-rata lapisan pada masing-masing formasi.

- a. **Terdapat hubungan antara frekuensi lapisan dengan tebal rata-rata lapisan pada populasi anggota batulumpur, Formasi Merawu.**

1) *Diagram pencar hubungan antara frekuensi lapisan dengan tebal rata-rata lapisan (cm) pada populasi anggota batulumpur, Formasi Merawu*

**Tabel 3.9** Tabel dan Diagram Pencar Hubungan antara Frekuensi Lapisan dengan Tebal Rata-Rata Lapisan (cm) pada Populasi Anggota Batulumpur, Formasi Merawu



Hubungan Fungsional antara frekuensi lapisan dengan tebal rata-rata lapisan pada populasi anggota batulumpur, Formasi Merawu.

Hubungan fungsional:

$$\hat{y} = a + bx$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}$$

Untuk menghitung hubungan fungsional tersebut digunakan tabel bantuan sebagai berikut:

**Tabel 3.10** Hubungan Fungsional antara Frekuensi Lapisan dengan Tebal Rata-Rata Lapisan (cm) pada Anggota Batulumpur, Formasi Merawu

No. urut segmen	x (frekuensi lapisan)	y (cm) (tebal rata-rata lapisan)	xy	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>
1	16	31.2500	500	256	976.5625
2	15	33.3333	500	225	1111.1111
3	15	33.3333	500	225	1111.1111
4	13	38.4615	500	169	1479.2899
5	11	45.4545	500	121	2066.1157
6	10	50.0000	500	100	2500.0000
7	13	38.4615	500	169	1479.2899
8	15	33.3333	500	225	1111.1111
9	13	38.4615	500	169	1479.2899
10	11	45.4545	500	121	2066.1157
11	11	45.4545	500	121	2066.1157
12	18	27.7778	500	324	771.6049
13	18	27.7778	500	324	771.6049
14	14	35.7143	500	196	1275.5102
15	11	45.4545	500	121	2066.1157
16	11	45.4545	500	121	2066.1157
17	11	45.4545	500	121	2066.1157
<b>Total</b>	<b>226</b>	<b>660.6317</b>	<b>8500</b>	<b>3108</b>	<b>26463.17995</b>

Dengan demikian, masing-masing nilai tersebut dapat dihitung sebagai berikut:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}$$

$$= \frac{(660.6317)(3108) - (226)(8500)}{(17)(3108) - (226)^2} = 75.1383$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}$$

$$= \frac{(17)(8500) - (226)(660.6317)}{(17)(3108) - (226)^2} = -2.72885$$

2) ***Uji independensi antara frekuensi lapisan dengan tebal rata-rata lapisan pada populasi anggota batulumpur, Formasi Merawu.***

$H_0: \rho_1 = \rho_2$ ; tidak terdapat hubungan antara frekuensi lapisan dengan tebal rata-rata lapisan.

$H_1: \rho_1 \neq \rho_2$ ; terdapat hubungan antara frekuensi lapisan dengan tebal rata-rata lapisan.

$\alpha = 5\%$

**Statistik Uji:**

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left(n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2\right) - \left(n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2\right)}}$$

$$r = \frac{(17)(8500) - (226)(660.6317)}{\sqrt{\left((17)(3108) - (226)^2\right) - \left((17)(26463.17995) - (660.6317)^2\right)}}$$

$$= -0.9875$$

$$r^2 = 0.9752$$

$$t_{\text{hit}} = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} = \frac{(-0.9875)\sqrt{17-2}}{\sqrt{1-0.9752}} = -24.2700$$

$$t_{\text{kriteria}} = t_{n-2} \left(1 - \frac{1}{2}\alpha\right) = 2.1315$$

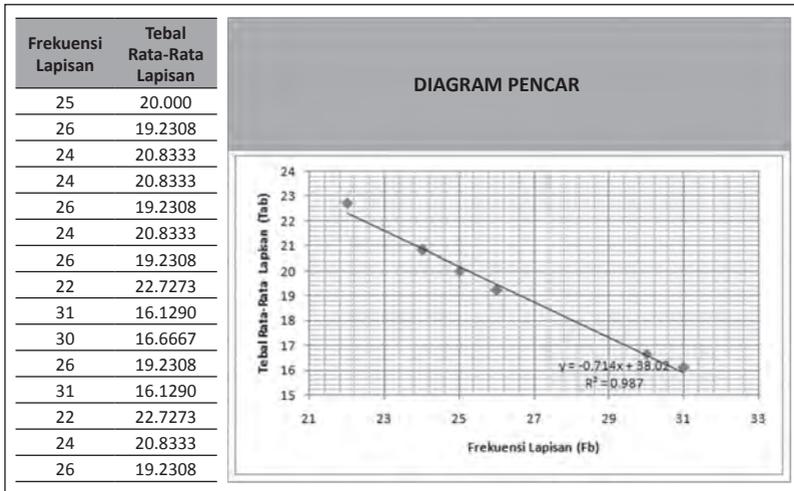
**Kriteria uji:**

Tolak  $H_0$  apabila nilai mutlak  $t_{hit} > t_{kriteria}$ , terima dalam hal lainnya. Dengan membandingkan kedua nilai ini, diambil keputusan untuk menolak  $H_0$ . Dengan demikian, dapat diambil kesimpulan terdapat hubungan antara Frekuensi Lapisan dengan Tebal Rata-Rata Lapisan.

**b. Terdapat hubungan antara frekuensi lapisan dengan tebal rata-rata lapisan pada populasi anggota batupasir, Formasi Merawu.**

**1) *Diagram pencar hubungan antara frekuensi lapisan dengan tebal rata-rata lapisan pada populasi anggota batupasir, Formasi Merawu.***

**Tabel 3.11** Tabel dan Diagram Pencar Hubungan antara Frekuensi Lapisan dengan Tebal Rata-Rata Lapisan (cm) pada Anggota Batupasir, Formasi Merawu



2) *Hubungan fungsional antara frekuensi lapisan dengan tebal rata-rata lapisan (cm) pada populasi anggota batupasir, Formasi Merawu.*

Hubungan fungsional:

$$\hat{y} = a + bx$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}$$

Untuk menghitung hubungan fungsional tersebut digunakan tabel bantuan sebagai berikut:

**Tabel 3.12** Hubungan Fungsional antara Frekuensi Lapisan dengan Tebal Rata-Rata Lapisan (cm) pada Anggota Batupasir, Formasi Merawu

No urut segmen	X (frekuensi lapisan)	Y (tebal rata-rata lapisan)(cm)	xy	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>
1	25	20.0000	500	625	400.0000
2	26	19.2308	500	676	369.8225
3	24	20.8333	500	576	434.0278
4	24	20.8333	500	576	434.0278
5	26	19.2308	500	676	369.8225
6	24	20.8333	500	576	434.0278
7	26	19.2308	500	676	369.8225
8	22	22.7273	500	484	516.5289
9	31	16.1290	500	961	260.1457
10	30	16.6667	500	900	277.7778
11	26	19.2308	500	676	369.8225
12	31	16.1290	500	961	260.1457
13	22	22.7273	500	484	516.5289
14	24	20.8333	500	576	434.0278
15	26	19.2308	500	676	369.8225
Total	387	293.8665	7500	10099	5816.35053

Dengan demikian, masing-masing nilai tersebut dapat dihitung sebagai berikut:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}$$

$$= \frac{(293.8665)(10099) - (387)(75000)}{(15)(10099) - (387)^2} = 38.0288$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}$$

$$= \frac{(15)(7500) - (387)(293.8665)}{(15)(10099) - (387)^2} = -0.7146$$

$$\hat{y} = a + bx = 38.0288 - 0.7146x$$

3) ***Uji independensi antara frekuensi lapisan dengan tebal rata-rata lapisan pada populasi anggota batupasir, Formasi Merawu.***

$H_0$ :  $\rho_1 = \rho_2$ ; tidak terdapat hubungan antara frekuensi lapisan dengan tebal rata-rata lapisan.

$H_1$ :  $\rho_1 \neq \rho_2$ ; terdapat hubungan antara frekuensi lapisan dengan tebal rata-rata lapisan.

$$\alpha = 5\%$$

**Statistik Uji:**

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left(n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2\right) \left(n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2\right)}}$$

$$r = \frac{(15)(7500) - (387)(293.8665)}{\sqrt{\left((15)(10099) - (387)^2\right) \left((15)(5816.35053) - (293.8665)^2\right)}}$$

$$= -9.9936$$

$$r^2 = 0.9872$$

$$t_{hit} = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} = \frac{(-0.9936)\sqrt{15-2}}{\sqrt{1-0.9872}} = -31.6263$$

$$t_{kriteria} = t_{n-2} \left( 1 - \frac{1}{2}\alpha \right) = 2.1604$$

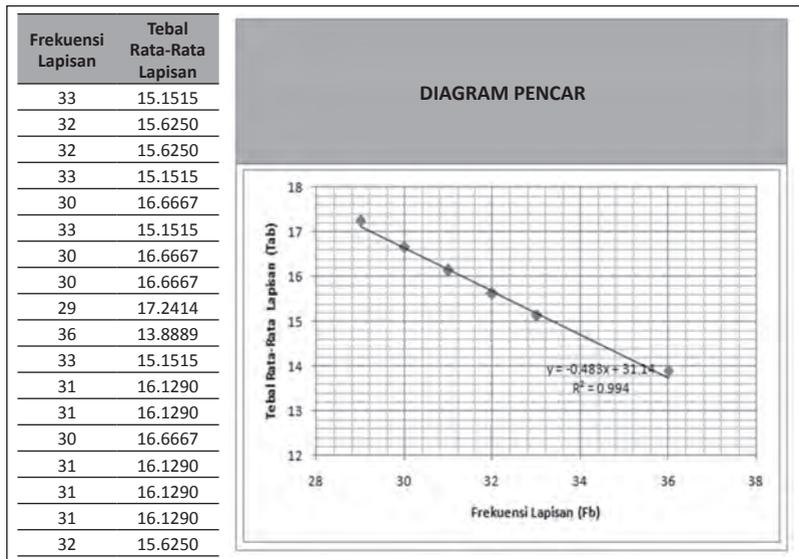
**Kriteria uji:**

Tolak  $H_0$  apabila nilai mutlak  $t_{hit} > t_{kriteria}$ , terima dalam hal lainnya. Dengan membandingkan kedua nilai ini, diambil keputusan untuk menolak  $H_0$ . Dengan demikian, dapat diambil kesimpulan terdapat hubungan antara Frekuensi Lapisan dengan Tebal Rata-Rata Lapisan.

**c. Terdapat hubungan antara frekuensi lapisan dengan tebal rata-rata lapisan (cm) pada populasi Formasi Penyatan.**

**1) Diagram pencar hubungan antara frekuensi lapisan dengan tebal rata-rata lapisan pada populasi Formasi Penyatan.**

**Tabel 3.13** Diagram Pencar Hubungan antara Frekuensi Lapisan dengan Tebal Rata-Rata Lapisan (cm) pada Formasi Penyatan



2) **Hubungan fungsional antara frekuensi lapisan dengan tebal rata-rata lapisan pada populasi Formasi Penyatan.**

Hubungan fungsional:

$$\hat{y} = a + bx$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}$$

Untuk menghitung hubungan fungsional tersebut digunakan tabel bantuan sebagai berikut:

**Tabel 3.14** Hubungan Fungsional antara Frekuensi Lapisan dengan Tebal Rata-Rata Lapisan (cm) pada Formasi Penyatan

No urut segmen	x (frekuensi lapisan)	y (tebal rata-rata lapisan)(cm)	xy	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>
1	33	15.1515	500	1089	229.5684
2	32	15.6250	500	1024	244.1406
3	32	15.6250	500	1024	244.1406
4	33	15.1515	500	1089	229.5684
5	30	16.6667	500	900	277.7778
6	33	15.1515	500	1089	229.5684
7	30	16.6667	500	900	277.7778
8	30	16.6667	500	900	277.7778
9	29	17.2414	500	841	297.2652
10	36	13.8889	500	1296	192.9012
11	33	15.1515	500	1089	229.5684
12	31	16.1290	500	961	260.1457
13	31	16.1290	500	961	260.1457
14	30	16.6667	500	900	277.7778
15	31	16.1290	500	961	260.1457
16	31	16.1290	500	961	260.1457
17	31	16.1290	500	961	260.1457
18	32	15.6250	500	1024	244.1406
<b>Total</b>	<b>568</b>	<b>285.9232</b>	<b>9000</b>	<b>17970</b>	<b>4552.70144</b>

Dengan demikian, masing-masing nilai tersebut dapat dihitung sebagai berikut:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}$$

$$= \frac{(285.9232)(17970) - (568)(9000)}{(18)(17970) - (568)^2} = 31.1473$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}$$

$$= \frac{(18)(9000) - (568)(285.9232)}{(18)(17970) - (568)^2} = -0.4837$$

$$\hat{y} = a + bx = 31.1473 - 0.4837x$$

3) ***Uji independensi antara frekuensi lapisan dengan tebal rata-rata lapisan pada populasi anggota batupasir, Formasi Merawu.***

$H_0$ :  $\rho_1 = \rho_2$ ; tidak terdapat hubungan antara frekuensi lapisan dengan tebal rata-rata lapisan.

$H_1$ :  $\rho_1 \neq \rho_2$ ; terdapat hubungan antara frekuensi lapisan dengan tebal rata-rata lapisan.

$\alpha = 5\%$

**Statistik Uji:**

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left(n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2\right) - \left(n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2\right)}}$$

$$r = \frac{(18)(9000) - (568)(285.9232)}{\sqrt{(18)(17970) - (568)^2 - ((18)(5816.35053) - (285.9232))}}$$

$$= -0.9975$$

$$r^2 = 0.9949$$

$$t_{hit} = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} = \frac{(-0.9975)\sqrt{18-2}}{\sqrt{1-0.9949}} = -55.9832$$

$$t_{kriteria} = t_{n-2} \left( 1 - \frac{1}{2} \alpha \right) = 2.1199$$

**Kriteria uji:**

Tolak  $H_0$  apabila nilai mutlak  $t_{hit} > t_{kriteria}$ , terima dalam hal lainnya. Dengan membandingkan kedua nilai ini, diambil keputusan untuk menolak  $H_0$ . Dengan demikian, dapat diambil kesimpulan terdapat hubungan antara Frekuensi Lapisan dengan Tebal Rata-Rata Lapisan.

Adapun hasil pengujian statistik seluruh hipotesis tercantum dalam Tabel 3.15.

**Tabel 3.15** Hasil pengujian statistik terhadap hipotesis/subhipotesis.

No	Hipotesis/ Subhipotesis	Populasi	Variabel	Uji Statistik	Statistik Hitung	Kriteria Uji	Keputusan Uji	Kesimpulan Statistik	Kesimpulan Geologi
1	Terdapat perbedaan jumlah penyusun asal vulkanik antara Fm. Worawari dengan Fm. Merawu	Fm. Worawari & Fm. Merawu	Rv & Gv	T <sup>2</sup> Hotelling	T <sup>2</sup> Hit = 411.1610	T <sup>2</sup> kriteria = 5.9915	Tolak Ho	Terdapat perbedaan jumlah penyusun asal vulkanik antara Fm. Worawari dengan Fm. Merawu	Terdapat perbedaan intensitas kegiatan gunung api yang memengaruhi pembentukan kedua populasi.
1.1	Terdapat perbedaan fragmen batuan vulkanik (Rv) antara populasi Fm. Worawari dengan Fm. Merawu	Fm. Worawari & Fm. Merawu	Rv	Uji beda rata-rata independen	t' Hit = -9.5060	t kriteria = 2.2322	Tolak Ho	Terdapat perbedaan jumlah fragmen batuan vulkanik (Rv) antara populasi Fm. Worawari dengan Fm. Merawu	Terdapat perbedaan intensitas kegiatan gunung-api yang memengaruhi pembentukan kedua populasi.
1.2	Terdapat perbedaan fragmen gelas vulkanik (Gv) antara populasi Fm. Worawari dengan Fm. Merawu	Fm. Worawari & Fm. Merawu	Gv	Uji beda rata-rata independen	t' Hit = 1.5851	t kriteria = 2.2345	Tolak Ho	Terdapat perbedaan jumlah fragmen gelas vulkanik (Gv) antara populasi Fm. Worawari dengan Fm. Merawu	Terdapat perbedaan intensitas kegiatan gunung api yang memengaruhi pembentukan kedua populasi.
1.3	Terdapat perbedaan penyusun asal vulkanik (Rv + Rg) antara populasi Fm. Worawari dengan Fm. Merawu	Fm. Worawari & Fm. Merawu	(Rv + Gv)	Uji beda rata-rata independen	t Hit = -20.1990	t kriteria = 2.0930	Tolak Ho	Terdapat perbedaan jumlah penyusun asal vulkanik (Rv + Gv) antara populasi Fm. Worawari dengan Fm. Merawu	Intensitas kegiatan gunung api lebih besar pada Fm. Merawu dibandingkan pada Fm. Worawari karena nilai rata-rata (Rv+Gv) lebih besar pada Fm. Merawu.
2	Terdapat perbedaan jumlah penyusun asal vulkanik antara Fm. Penyatatan dengan Fm. Merawu	Fm. Penyatatan & Fm. Merawu	Rv & Gv	T <sup>2</sup> Hotelling	T <sup>2</sup> Hit = 79.2169	T <sup>2</sup> kriteria = 5.9915	Tolak Ho	Terdapat perbedaan jumlah penyusun asal vulkanik antara Fm. Penyatatan dengan Fm. Merawu.	Terdapat perbedaan intensitas kegiatan gunung api yang memengaruhi pembentukan kedua populasi.

No	Hipotesis/ Subhipotesis	Populasi	Variabel	Uji Statistik	Statistik Hitung	Kriteria Uji	Keputusan Uji	Kesimpulan Statistik	Kesimpulan Geologi
2.1	Terdapat perbedaan fragmen batuan vulkanik (Rv) antara populasi Fm. Penyatatan dengan Fm. Merawu	Fm. Penyatatan & Rv Fm. Merawu	Rv	Uji beda rata-rata independen	t Hit = 8.3540	t kriteria = 2.0859	Tolak Ho	Terdapat perbedaan jumlah fragmen batuan vulkanik (Rv) antara populasi Fm. Penyatatan dengan Fm. Merawu.	Terdapat perbedaan intensitas kegiatan gunung api yang memengaruhi pembentukan kedua populasi.
2.2	Terdapat perbedaan fragmen gelas vulkanik (Gv) antara populasi Fm. Penyatatan dengan Fm. Merawu	Fm. Penyatatan & Gv Fm. Merawu	Gv	Uji beda rata-rata independen	t Hit = -4.6170	t kriteria = 2.0859	Tolak Ho	Terdapat perbedaan jumlah fragmen gelas vulkanik (Gv) antara populasi Fm. Penyatatan dengan Fm. Merawu	Terdapat perbedaan intensitas kegiatan gunung api yang memengaruhi pembentukan kedua populasi.
2.3	Terdapat perbedaan penyusun asal vulkanik (Rv + Gv) antara populasi Fm. Penyatatan dengan Fm. Merawu	Fm. Penyatatan & (Rv + Gv) Fm. Merawu	(Rv + Gv)	Uji beda rata-rata independen	t' Hit = -10.3620	t kriteria = 2.2281	Tolak Ho	Terdapat perbedaan jumlah penyusun asal vulkanik (Rv + Gv) antara populasi Fm. Penyatatan dengan Fm. Merawu	Intensitas kegiatan gunung api lebih besar pada Fm. Penyatatan dibandingkan pada Fm. Merawu karena nilai rata-ratan (Rv+Gv) lebih besar pada Fm. Penyatatan.
3	Terdapat perbedaan signifikan karakteristik fasies sedimen antara anggota batulumpur dari Fm. Merawu vs Fm. Penyatatan.	1. Anggota batulumpur dari Fm. Merawu 2. Fm. Penyatatan	1. Rsc Fb 3. Tab	T <sup>2</sup> Hotelling	T <sup>2</sup> Hit = 1083,484	T <sup>2</sup> kriteni	Ho ditolak	Matriks rata-rata kedua populasi tidak sama.	Terdapat perbedaan signifikan karakteristik fasies sedimen antara anggota batulumpur dari Fm. Merawu vs Fm. Penyatatan.

No	Hipotesis/ Subhipotesis	Populasi	Variabel	Uji Statistik	Statistik Hitung	Kriteria Uji	Keputusan Uji	Kesimpulan Statistik	Kesimpulan Geologi
3.1.	Terdapat perbedaan signifikan karakteristik fasies sedimen komponen Rsc (rasio pasir/lempung) antara anggota batulumpur dari Fm. Merawu vs Fm. Penyatatan	-sda-	Rasio pasir/lempung (Rsc)	Uji beda rata-rata independen	$t_{hit} = 10,8837$	$t_{tabel} = 2,0322$	Ho ditolak	Terdapat perbedaan signifikan karakteristik fasies sedimen komponen Rsc (rasio pasir/lempung) antara anggota batulumpur dari Fm. Merawu vs Fm. Penyatatan.	Karena nilai rata-rata Rsc Fm. Penyatatan lebih tinggi, maka formasi tersebut diendapkan dalam lingkungan dengan energi yang lebih tinggi dibandingkan anggota batulumpur dari Fm. Merawu.
3.2	Terdapat perbedaan signifikan frekuensi lapisan antara anggota batulumpur dari Fm. Merawu vs Fm. Penyatatan akibat perbedaan aktivitas tektonik	-sda-	Frekuensi Lapisan (Fb)	Uji beda rata-rata independen	$t_{hit} = 25,8421$	$t_{tabel} = 2,1098$	Ho ditolak	Terdapat perbedaan signifikan frekuensi lapisan antara anggota batulumpur dari Fm. Merawu vs Fm. Penyatatan akibat perbedaan aktivitas tektonik.	Nilai rata-rata Fb pada Fm. Penyatatan lebih tinggi, ini berarti Fm. Penyatatan terbentuk di bawah kondisi tektonik yang lebih aktif sehingga sering terjadi perubahan perlapisan/fasies secara vertikal.
3.3	Terdapat perbedaan signifikan karakteristik fasies sedimen komponen Tab (tebal rata-rata lapisan) antara anggota batulumpur dari Fm. Merawu vs Fm. Penyatatan akibat perbedaan aktivitas tektonik	-sda-	Tabal rata-rata lapisan (Tab)	Uji beda rata-rata independen	$t_{hit} = 12,7391$	$t_{tabel} = 2,1312$	Ho ditolak	Terdapat perbedaan signifikan karakteristik fasies sedimen komponen Tab antara anggota batulumpur dari Fm. Merawu vs Fm. Penyatatan akibat perbedaan aktivitas tektonik	Nilai rata-rata Tab pada Formasi Penyatatan lebih tipis dibanding pada anggota batulumpur dari Fm. Merawu, ini berarti Fm. Penyatatan terbentuk di bawah kondisi tektonik yang lebih aktif.
4	Terdapat perbedaan signifikan karakteristik fasies sedimen antara anggota batupasir dari Formasi Merawu vs Formasi Penyatatan, meliputi variabel Rsc (rasio pasir/lempung), Fb (frekuensi lapisan) dan Tab (tebal rata-rata lapisan).								

No	Hipotesis/ Subhipotesis	Populasi	Variabel	Uji Statistik	Statistik Hitung	Kriteria Uji	Keputusan Uji	Kesimpulan Statistik	Kesimpulan Geologi
4.1	Terdapat perbedaan signifikan karakteristik fasies sedimen komponen Rsc (rasio pasir/lempung) antara anggota batupasir dari Fm. Merawu vs Fm. Penyatatan akibat perbedaan energi lingkungan pengendapan.	-sda-	Rasio pasir/lempung (Rsc)	Uji beda rata-rata independen	$t_{hit} = 21,1044$	$t_{tabel} = 2,1098$	Ho ditolak	Terdapat perbedaan signifikan karakteristik fasies sedimen komponen Rsc (rasio pasir/lempung) antara anggota batupasir dari Fm. Merawu vs Fm. Penyatatan.	Nilai rata-rata rasio pasir/lempung (Rsc) pada anggota batupasir dari Fm. Merawu lebih tinggi dari Fm. Penyatatan, ini menunjukkan energi lingkungan pengendapan pada anggota batupasir dari Fm. Merawu lebih tinggi.
4.2	Terdapat perbedaan signifikan karakteristik fasies sedimen komponen Fb (Frekuensi lapisan) antara anggota batupasir dari Fm. Merawu vs Fm. Penyatatan akibat perbedaan aktivitas tektonik.	-sda-	Frekuensi lapisan (Fb)	Uji beda rata-rata independen	$t_{hit} = -7,3765$	$t_{tabel} = 2,1098$	Ho ditolak	Terdapat perbedaan signifikan karakteristik fasies sedimen komponen lapisan) antara Anggota Batupasir dari Fm. Merawu vs Fm. Penyatatan akibat perbedaan aktivitas tektonik.	Nilai rata-rata Fb pada Fm. Penyatatan lebih tinggi, berarti lebih sering terjadi perubahan fasies, ini menunjukkan formasi tersebut dipengaruhi oleh aktivitas tektonik yang lebih tinggi dibanding Anggota Batupasir dari Fm. Merawu.
4.3	Terdapat perbedaan signifikan karakteristik fasies sedimen komponen Tab (tebal rata-rata lapisan) anggota batupasir dari Fm. Merawu vs Fm. Penyatatan akibat perbedaan aktivitas tektonik	-sda-	Tebal rata-rata lapisan (Tab) (cm)	Uji beda rata-rata independen	$t_{hit} = 6,7425$	$t_{tabel} = 2,1098$	Ho ditolak	Terdapat perbedaan signifikan karakteristik komponen Fb (frekuensi lapisan) antara anggota batupasir dari Fm. Merawu vs Fm. Penyatatan akibat perbedaan aktivitas tektonik	Nilai rata-rata Tab pada Fm. Penyatatan lebih tipis, berarti lebih sering terjadi perubahan fasies, ini menunjukkan formasi tersebut dipengaruhi oleh aktivitas tektonik yang lebih tinggi dibanding anggota batupasir dari Fm. Merawu.

No	Hipotesis/ Subhipotesis	Populasi	Variabel	Uji Statistik	Statistik Hitung	Kriteria Uji	Keputusan Uji	Kesimpulan Statistik	Kesimpulan Geologi
5	Terdapat hubungan antara Frekuensi Lapisan (Fb) dengan Tebal Rara-Rata Lapisan (Tab) pada anggota batulumpur dari Formasi Merawu, anggota batupasir dari Formasi Merawu, dan pada Formasi Penytan.								
5.1	Terdapat hubungan antara frekuensi lapisan dengan tebal rara-rata lapisan pada anggota batulumpur dari Fm. Merawu.	Anggota batulumpur dari Fm. Merawu	1. Frekuensi lapisan (Fb) 2. Tebal rata-rata lapisan (Tab) (cm)	Analisis Korelasi	$r_{hit} = -0,9881$ $r^2 = 0,9763$ $t_{hit} = 25,657$	$t_{korelasi} = 2,1200$	Ho ditolak	Terdapat hubungan antara Frekuensi Lapisan dengan tebal rara-rata lapisan pada anggota batulumpur dari Fm. Merawu.	Semakin tinggi frekuensi lapisan semakin banyak lapisan dalam satu interval, berarti semakin tipis tebal rata-rata lapisan.
5.2	Terdapat hubungan antara frekuensi lapisan dengan tebal rara-rata lapisan pada anggota batupasir dari Fm. Merawu	Anggota batupasir dari Fm. Merawu	1. Frekuensi lapisan (Fb) 2. Tebal rata-rata lapisan (Tab) (cm)	Analisis Korelasi	$r_{hit} = -0,9889$ $r^2 = 0,9779$ $t_{hit} = 26,601$	$t_{korelasi} = 2,1200$	Ho ditolak	Terdapat hubungan antara frekuensi lapisan dengan tebal rara-rata lapisan pada anggota batupasir dari Fm. Merawu	Semakin tinggi frekuensi lapisan semakin banyak lapisan dalam satu interval, berarti semakin tipis tebal rata-rata lapisan.
5.3	Terdapat hubungan antara frekuensi lapisan dengan tebal rara-rata lapisan pada Fm. Penytan	Fm. Penytan	1. Frekuensi lapisan (Fb) 2. Tebal rata-rata lapisan (Tab) (cm)	Analisis Korelasi	$r_{hit} = -0,9975$ $r^2 = 0,9949$ $t_{hit} = 55,983$	$t_{korelasi} = 2,1200$	Ho ditolak	Terdapat hubungan antara frekuensi lapisan dengan tebal rara-rata lapisan pada Fm. Penytan	Semakin tinggi frekuensi lapisan semakin banyak lapisan dalam satu interval, berarti semakin tipis tebal rata-rata lapisan.

Sumber: Modifikasi dari Bachri (2011)



# BAB IV

## EVOLUSI CEKUNGAN SERAYU BERDASARKAN KOMBINASI DATA KUALITATIF DAN KUANTITATIF

Pada bab ini akan dibahas evolusi Cekungan Serayu terutama berdasarkan data kualitatif seperti umur formasi, lingkungan pengendapan, data gaya berat, dan arah arus purba, yang semuanya berkontribusi untuk menafsirkan perkembangan paleogeografi dari waktu ke waktu. Namun, di samping itu juga akan digunakan data kuantitatif untuk membantu penafsiran geologi.

### A. Batuan Asal dan Batuan Alas Cekungan Serayu

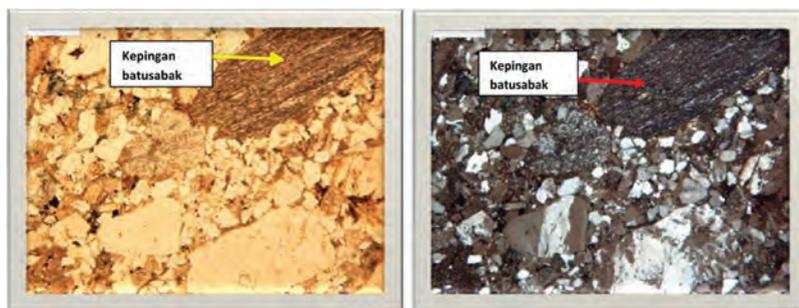
#### 1. Batuan Asal

Keberadaan gelas vulkanik dan fragmen batuan gunung api yang cukup melimpah dalam Formasi Worawari, Formasi Merawu ataupun Formasi Penyatan, menunjukkan bahwa ketiga formasi tersebut mempunyai batuan asal terutama batuan vulkanik. Hal ini terlihat dari hasil analisis petrografi.

Dalam analisis petrografi ditunjukkan adanya beberapa lapisan tuf litik dalam Formasi Worawari. Keberadaan fragmen batuan gunung api dalam batupasir Formasi Worawari, juga ditunjukkan dalam analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM). Hal ini

menunjukkan keberadaan kegiatan gunung api berumur Paleogen Awal atau lebih tua. Menurut Bronto dkk. (2004), kemungkinan dijumpainya tunjaman Kapur–Paleosen di selatan Jawa sangat memungkinkan. Hal ini diindikasikan dengan dijumpainya singkapan-singkapan batuan vulkanik berumur 75–56 jtl (Kapur–Paleosen) di Kokap (Kulon Progo), Watuadeg (Bantul) dan Kali Ngalang (Gunung Kidul). Ditafsirkan lebih lanjut, bahwa di Jawa telah terjadi tumpang tindih vulkanisme sejak Kapur hingga Paleogen, bahkan sampai Neogen dan Kuartar. Sekalipun terjadi pergerakan lempeng kerak bumi, diduga jarak dari zona tunjaman ke busur gunung api relatif tetap.

Pada salah satu sayatan tipis batupasir Formasi Worawari dari Kali Worawari menunjukkan adanya komponen batuan malihan (batusabak) sebagaimana terlihat pada Gambar 4.1 a dan b. Hal ini menunjukkan bahwa salah satu batuan asal Formasi Worawari adalah batuan malihan. Batuan malihan tersebut selama ini dikenal merupakan batuan berumur pra-Paleogen di daerah Pegunungan Serayu Utara ataupun Pegunungan Serayu Selatan.



a) Kedudukan lensa nikol sejajar

b) Kedudukan lensa nikol bersilang

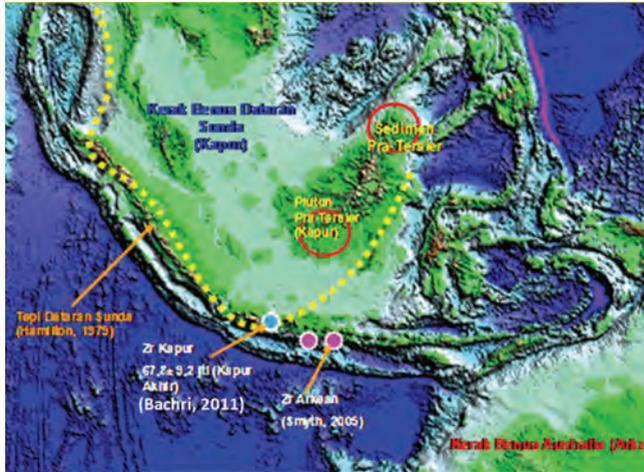
Sumber: Bachri (2011)

**Gambar 4.1** Mikrofoto Batupasir *Litharenite* Formasi Worawari dari Kali Worawari

## 2. Batuan Alas (*Basement Rock*)

Seperti terlihat pada Gambar 4.10 bahwa batuan alas di Cekungan Serayu Utara adalah campuran batuan granitan dan malihan dengan rapat masa  $2,65 \text{ gr/cm}^3$ . Pada studi yang telah dilakukan sampel batupasir Formasi Worawari mengandung apatit dan zirkon, namun umumnya dalam keadaan retak-retak dan berukuran halus sehingga tidak bisa ditentukan umurnya. Namun, satu sampel batupasir dari Kali Gebyugan mengandung zirkon yang teridentifikasi umurnya  $67,8 \pm 9,2$  juta tahun (Kapur Akhir, Bachri, 2011). Hal ini mengindikasikan bahwa salah satu batuan asal Formasi Worawari adalah batuan pra-Paleogen dari Paparan Sunda. Hal ini menjadi menarik karena berdasarkan pemodelan gaya berat seperti disebut di muka, batuan alas di Cekungan Serayu adalah batuan granitan bercampur dengan batuan malihan. Dengan demikian, dapat ditafsirkan bahwa batuan alas di Cekungan Serayu adalah batuan granitan dan malihan yang diduga dari Paparan Sunda (Lempeng Eurasia) karena berumur Kapur.

Hal ini menjadi menarik karena zirkon yang dijumpai di Jawa bagian timur-selatan berumur Arkean sehingga ditafsirkan bersumber dari kerak benua Australia (Smyth, 2005). Mengacu ke penelitian Smyth (2005) tersebut, serta batas Paparan Sunda yang dikemukakan oleh Hamilton (1979), maka keberadaan zirkon berumur Kapur di Formasi Worawari mendukung pernyataan terdahulu (Hamilton, 1979) bahwa daerah penelitian terletak di ujung tenggara Paparan Sunda (Gambar 4.2). Dengan kata lain, daerah ini mempunyai batuan alas pra-Paleogen dari Paparan Sunda.



Sumber: Bachri (2011)

**Gambar 4.2** Lokasi Zirkon Kapur dalam Formasi Worawari yang Terletak pada Ujung Tenggara Paparan Sunda

Keberadaan batuan alas berupa batuan malihan dan batuan granitan tersebut sangat berbeda dengan yang dikemukakan oleh van Bemmelen (1937) bahwa batuan alas di Pegunungan Serayu Utara adalah batuan sedimen yang disebut sebagai *Eocene Series*. Namun, bila dibandingkan dengan temuan Condon dkk. (1975) berupa batuan malihan Kapur masih ada relevansinya. Hal tersebut juga sesuai dengan penemuan batusabak yang merupakan salah satu batuan asal di Cekungan Serayu. Adapun temuan batuan granitan dari data gaya berat sesuai dengan dijumpainya batuan pluton Kapur di Kalimantan yang masih merupakan bagian dari Paparan Sunda (Hamilton, 1979).

## B. Pengaruh Kegiatan Gunung Api

Penyusun batuan asal vulkanik yang masih dapat diidentifikasi pada analisis petrografi adalah fragmen batuan vulkanik ( $R_v$ ) dan gelas vulkanik ( $G_v$ ). Jumlah keduanya mencerminkan volume batuan gunung api yang menjadi batuan asal (*provenance*) populasi-populasi yang

menjadi objek penelitian. Semakin tinggi jumlah keduanya ( $R_v + G_v$ ) mencerminkan intensitas kegiatan vulkanisme yang semakin tinggi.

Dari Tabel 4.1 terlihat bahwa ( $R_v + G_v$ ) pada Formasi Merawu (173,090 *counts*) lebih besar secara signifikan dari ( $R_v + G_v$ ) pada Formasi Worawari (98,636 *counts*). Ini menunjukkan bahwa intensitas kegiatan vulkanisme pada waktu pengendapan Formasi Merawu lebih tinggi daripada Formasi Worawari. Sementara itu, penghitungan lainnya menunjukkan ( $R_v + G_v$ ) pada Formasi Penyatan (232,545 *counts*) lebih tinggi daripada nilai rata-rata ( $R_v + G_v$ ) pada Formasi Merawu. Ini menandakan intensitas kegiatan vulkanisme pada Formasi Penyatan lebih tinggi daripada Formasi Merawu. Dengan demikian, aktivitas vulkanisme semakin meningkat kegiatannya dari formasi Worawari hingga Formasi Penyatan, atau dari umur tua ke muda. Menurut Soeria-Atmadja dkk. (1994), di Pulau Jawa terjadi kegiatan vulkanisme sejak Eosen Akhir–Miosen Awal hingga Kuartar, namun belum pernah ada yang menyebutkan apakah selama waktu tersebut kegiatan vulkanisme meningkat atau menurun atau malah relatif tetap sama intensitasnya.

**Tabel 4.1** Jumlah variabel ( $R_v+G_v$ ) semakin meningkat ke arah populasi yang lebih muda, mulai dari Formasi Worawari hingga Formasi Penyatan.

KALA	SUB-KALA	FORMASI	Jumlah fragmen batuan vulkanik dan gelas vulkanik						
			50	100	150	200	250	300	Counts
Pliosen	Tengah	Fm. Penyataan							
	Awal								
	Akhir								232,545
Miosen	Tengah	Fm. Merayu							
	Awal								173,090
	Akhir								
Oligosen	Tengah	Fm. Worawari							
	Awal								
	Akhir								96,636
Eosen	Akhir								
	Tengah								

Aktivitas vulkanisme →

Sumber: Bachri (2011)

## C. Pengaruh Kegiatan Tektonik

Pengaruh kegiatan tektonik dapat dibuktikan dengan menggunakan variabel perlapisan, yaitu frekuensi lapisan ( $F_b$ ) dan tebal rata-rata lapisan ( $T_{ab}$ ) yang dalam hal ini diukur pada setiap interval 5 meter pada penampang stratigrafi. Pengambilan interval 5 meter berdasarkan nilai isotropi runtunan perlapisan batuan, yaitu interval dicapainya angka yang relatif seragam akan nilai-nilai variabel perlapisan, lebih besar dari nol dan lebih kecil dari tak terhingga. Oleh karenanya hanya ada dua formasi (Formasi Merawu dan Penyatan) yang diukur variabel perlapisannya, sedangkan Formasi Worawari tidak diukur mengingat nilai isotropinya rendah, artinya dibutuhkan interval yang sangat tebal (tidak tersedia dalam penelitian ini) untuk mencapai keseragaman harga variabel-variabel tersebut.

**Tabel 4.2** Frekuensi Lapisan ( $F_b$ ) pada Populasi Formasi Merawu dan Populasi Formasi Penyatan

KALA	SUB-KALA	FORMASI	Frekuensi lapisan ( $F_b$ )							
			18	20	22	24	26	28	30	
Pliosen	Tengah	Fm. Penyatan								
	Awal									
	Akhir									31,5
Miosen	Tengah	Fm. Merayu								
	Awal									
	Akhir									
Oligosen	Tengah	Fm. Worawari								
	Awal									
	Akhir									
Eosen	Akhir									
	Tengah									
			Aktivitas tektonik →							

Sumber: Bachri (2011)

Tabel 4.2 menunjukkan frekuensi lapisan pada Formasi Penyatan lebih tinggi dibandingkan Formasi Merawu. Ini menunjukkan bahwa pada Formasi Penyatan lebih sering terjadi perubahan fasies dan ini ditafsirkan akibat pengaruh kegiatan tektonik yang semakin aktif.

Sementara itu, pada Tabel 4.3 menunjukkan bahwa tebal rata-rata lapisan pada Formasi Penyataan lebih tipis dibanding dengan tebal rata-rata lapisan pada Formasi Merawu. Hal ini mengindikasikan pula bahwa pada Formasi Penyataan lebih sering atau lebih cepat terjadi pergantian fasies secara vertikal dan ini disebabkan pula oleh pengaruh kegiatan tektonik yang lebih aktif.

**Tabel 4.3** Rata-rata tebal lapisan (cm) Formasi Penyataan lebih tipis dibandingkan Formasi Merawu.

KALA	SUB-KALA	FORMASI	Tebal rata-rata lapisan (Tab)						
			28	26	24	22	20	18	16
Pliosen	Tengah	Fm. Penyataan							
	Awal								
Miosen	Akhir	Fm. Merayu							16.31,5
	Tengah								
Oligosen	Awal	Fm. Worawari				23,85			
	Tengah								
Eosen	Akhir	Fm. Worawari							
	Tengah								
			Aktivitas tektonik →						

Sumber: Bachri (2011)

Dari hasil analisis korelasi dan regresi tampak bahwa  $F_b$  memiliki korelasi sangat besar ( $r^2 > 0,9$ ) terhadap  $T_{ab}$ , yang berarti semakin tinggi nilai frekuensi lapisan ( $F_b$ ) semakin tipis nilai tebal rata-rata lapisan ( $T_{ab}$ ), dan ini mencerminkan kondisi tektonik yang semakin aktif.

Menurut Pulungono dan Martodjojo (1994) serta Powel (1976), kegiatan tektonik di Pulau Jawa sudah dimulai sejak Kapur, yaitu saat terjadi pemisahan subbenua India dari benua Antartika-Australia. Kegiatan tektonik tersebut berevolusi sampai sekarang, seperti ditunjukkan oleh perkembangan lajur tunjaman di Indonesia bagian barat (Katili, 1989). Namun, sampai kini belum ada yang menggambarkan apakah intensitas kegiatan tektonik tersebut semakin meningkat,

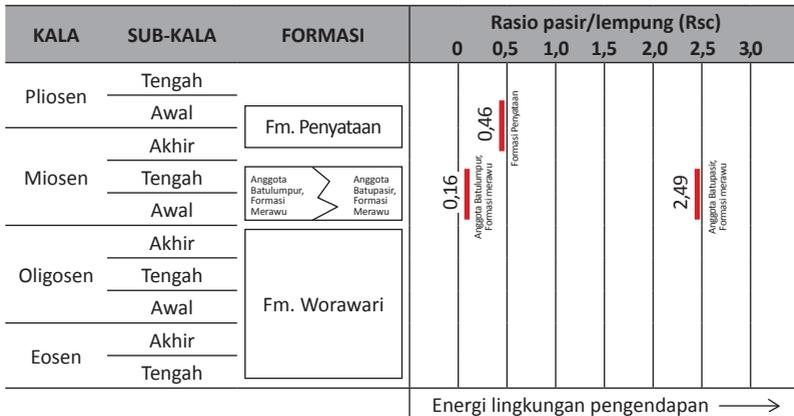
melemah, atau relatif tetap. Justru penelitian ini menunjukkan bahwa sejak Paleogen hingga Neogen Awal, intensitas kegiatan tektonik di Cekungan Serayu mengalami peningkatan.

## D. Pengaruh Energi Lingkungan Pengendapan

Hasil pengujian beda rata-rata menunjukkan terdapat perbedaan nyata antara nilai rata-rata rasio pasir/lempung ( $R_{sc}$ ) pada anggota batulumpur, anggota batupasir, keduanya dari Formasi Merawu dan Formasi Penyatan.

Pada anggota batulumpur dan anggota batupasir yang menurut pengujian sebelumnya dinyatakan mendapat pengaruh tektonik yang sama, ternyata nilai rata-rata  $R_{sc}$ -nya jauh berbeda. Nilai  $R_{sc}$  anggota batupasir (2,49) lebih tinggi dari nilai  $R_{sc}$  anggota batulumpur (0,16) ataupun Formasi Penyatan (0,46) (Tabel 4.4). Ini menunjukkan bahwa nilai  $R_{sc}$  tidak semata-mata dipengaruhi oleh tektonik, namun ada pengaruh lain, yaitu energi lingkungan pengendapan.

**Tabel 4.4** Nilai Rata-Rata Rasio pasir/lempung ( $R_{sc}$ ) Anggota Batulumpur dan Anggota Batupasir dari Formasi Merawu, dan Formasi Penyatan



Sumber: Bachri (2011)

Energi lingkungan pengendapan anggota batupasir lebih besar dari anggota batulumpur. Hal ini disebabkan anggota batupasir diendapkan pada dataran pasang surut zone pasir (*sand flat*) atau dataran pasir yang langsung berhadapan dengan gelombang dari laut. Sementara anggota batulumpur yang berada pada dataran pasang surut zone lumpur (*mud flat*) atau dataran lumpur terletak lebih dekat ke darat sehingga energi yang datang dari arah laut sudah melemah, akibatnya sedimen yang diangkut berukuran lebih halus (Leeder, 1982; Boggs, 2001). Hal tersebut tercermin pada Tabel 4.4 yang menunjukkan bahwa rasio pasir/lempung pada anggota batulumpur lebih kecil dibanding dengan rasio pasir/lempung pada anggota batupasir dari Formasi Merawu.

Tabel 4.4–4.6 adalah data rasio pasir/lempung masing-masing pada Formasi Worawari, anggota batulumpur dari Formasi Merawu dan Formasi Penyatan, sedangkan Gambar 4.3–4.5 menunjukkan perkembangan nilai rasio pasir/lempung pada formasi-formasi tersebut.

**Tabel 4.5** Data Rasio pasir/lempung pada Formasi Worawari

No.	Kedalaman pada penampang stratigrafi (M)	Nilai rasio pasir/lempung ( $R_{sc}$ )	No.	Kedalaman pada penampang stratigrafi (M)	Nilai rasio pasir/lempung ( $R_{sc}$ )
1	0-5	1,0000	11	55-60	1,7777
2	5-10	0,1111	12	65-70	0,3515
3	10-15	0,2820	13	70-75	0,1627
4	15-20	0,1904	14	75-80	0,3157
5	20-25	1,2727	15	80-85	0,4285
6	25-30	0,4705	16	85-90	0,1363
7	30-35	0,7241	17	90-95	0,1111
8	35-40	0,5151	18	95-100	0,1904
9	40-45	0,3333	19	100-105	0,425
10	45-50	0,8518			

Sumber: Bachri (2011)

Nilai rasio pasir/lempung juga dapat menunjukkan hubungannya dengan proses transgresi atau regresi. Menurut Levin (2005), fasies genang laut salah satunya ditunjukkan oleh ciri endapan yang menghalus ke atas, sedangkan fasies susut laut ditunjukkan oleh endapan yang mengkasar ke atas. Gambar 4.3–4.5 menunjukkan perkembangan nilai rasio pasir/lempung dari bagian bawah penampang stratigrafi sampai bagian atas penampang stratigrafi dari Formasi Worawari, Formasi Merawu, dan Formasi Penyatan. Perkembangan nilai rasio pasir/lempung tersebut diduga menggambarkan perkembangan proses transgresi dan regresi pada ketiga satuan tersebut.

**Tabel 4.6** Data Rasio pasir/lempung pada Anggota Batulumpur dari Formasi Merawu

No.	Segmen pada penampang stratigrafi	Total tebal batupasir (cm)	Total tebal batulempung (cm)	Rasio pasir/lempung ( $R_{sc}$ )
1	KT1	115	385	0.298701
2	KT2	100	400	0.25
3	KT3	70	430	0.162791
4	KT4	100	400	0.25
5	KT5	80	420	0.190476
6	KT6	75	425	0.176471
7	KT7	75	425	0.176471
8	KT8	75	425	0.176471
9	KT9	125	375	0.333333
10	KT10	100	400	0.25
11	KT11	150	350	0.428571
12	KT12	100	400	0.25
13	KT13	100	400	0.25
14	KT14	125	375	0.333333
15	KT15	100	400	0.25
16	KT16	125	375	0.333333
17	KT17	175	325	0.538462

Sumber: Bachri (2011)

**Tabel 4.7** Data rasio pasir/lempung pada Formasi Penyatan

No.	Segmen pada penampang stratigrafi	Total tebal batupasir (cm)	Total tebal batulempung (cm)	Rasio Pasir/lempung ( $R_{sc}$ )
1	PL1	175	325	0.538461538
2	PL2	175	325	0.538461538
3	PL3	135	365	0.369863014
4	PL4	150	350	0.428571429
5	PL5	170	330	0.515151515
6	PL6	175	325	0.538461538
7	PL8	145	355	0.408450704
8	PL9	150	350	0.428571429
9	PL13	160	340	0.470588235
10	PL14	155	345	0.449275362
11	PL15	160	340	0.470588235
12	PL16	175	325	0.538461538
13	PL18	180	320	0.5625
14	PL19	150	350	0.428571429
15	PL20	150	350	0.428571429
16	PL21	130	370	0.351351351
17	PL22	155	345	0.449275362
18	PL23	150	350	0.428571429

Sumber: Bachri (2011)

Pada Gambar 4.3–4.5 rasio pasir/lempung digambar pada setiap titik yang mewakili satu interval kedalaman tertentu, dengan nilai rasio pasir lempung tertentu. Dari titik satu ke titik berikutnya tampak terjadi perubahan nilai rasio pasir/lempung. Bila titik-titik tersebut dihubungkan maka akan membentuk suatu grafik yang terdiri atas segmen-segmen garis lurus.

Tiap garis lurus mengikuti persamaan garis lurus, yaitu  $Y = mX + c$  (Anonim, 2009b) (Persamaan 1), di mana ( $m$ ) merupakan koefisien kemiringan garis, dan ( $c$ ) merupakan konstanta yang besarnya tergantung titik potong terhadap sumbu X atau Y. Koefisien ( $m$ ) menggambarkan kecepatan proses genang laut atau susut laut,

semakin besar nilai absolute (m), semakin cepat proses genang laut/susut laut. Sementara itu, untuk menyusun persamaan  $Y = mX + c$ , bila diketahui posisi  $(X_1, Y_1)$  dan  $(X_2, Y_2)$  maka dapat digunakan rumus (Anonim, 2009b):

$$\frac{Y - Y_1}{Y_2 - Y_1} = \frac{X - X_1}{X_2 - X_1}$$

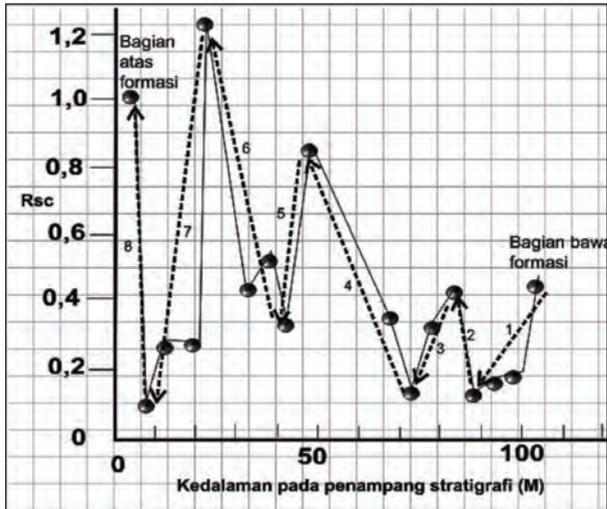
(Persamaan 2)

Bila terdapat beberapa titik yang cenderung membentuk satu garis lurus pada grafik rasio pasir/lempung vs kedalaman pada penampang stratigrafi maka garis genang laut/susut laut atau naik/turun air laut rata-rata dapat dibuat berdasarkan rata-rata dari beberapa persamaan garis lurus tersebut (Gambar 4.3).

Berdasarkan rumus persamaan 2 tersebut di muka maka dapat diperoleh persamaan garis 1–8 sebagai berikut:

- 1)  $Y = 1/120 X - 1,06$  (genang laut/transgresi)
- 2)  $Y = - 2/25 X + 6,4$  (susut laut/regresi)
- 3)  $Y = 1/5 X + 13,4$  (genang laut/ transgresi)
- 4)  $Y = - 1/20 X + 2,3$  (susut laut/regresi )
- 5)  $Y = 1/30 X - 3,5$  (genang laut/transgresi)
- 6)  $Y = - 61/1250 + 26,84$  (susut laut/regresi)
- 7)  $Y = 1/8 X - 1,25$  (genang laut/transgresi)
- 8)  $Y = - 0,1 X + 7,1$  (susut laut/regresi)

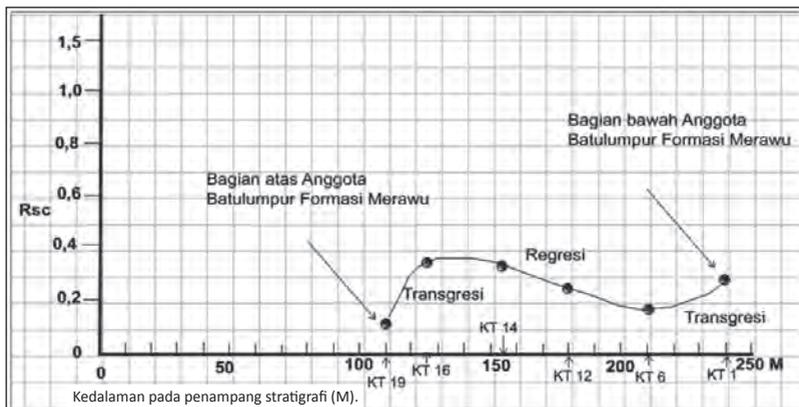
Setiap garis genang laut dicirikan dengan koefisien kemiringan positif, karena makin ke atas dari penampang stratigrafi (makin ke kiri) terjadi penurunan rasio pasir/lempung yang berarti butiran menghalus ke atas. Sebaliknya, untuk setiap garis susut laut dicirikan oleh koefisien kemiringan negatif, karena semakin ke atas (ke kiri) terjadi kenaikan rasio pasir/lempung, atau butiran mengalami pengkasaran ke atas.



Sumber: Bachri (2011)

**Gambar 4.3** Perkembangan Nilai Rasio pasir/lempung (Rsc) pada Penampang Stratigrafi Formasi Worawari

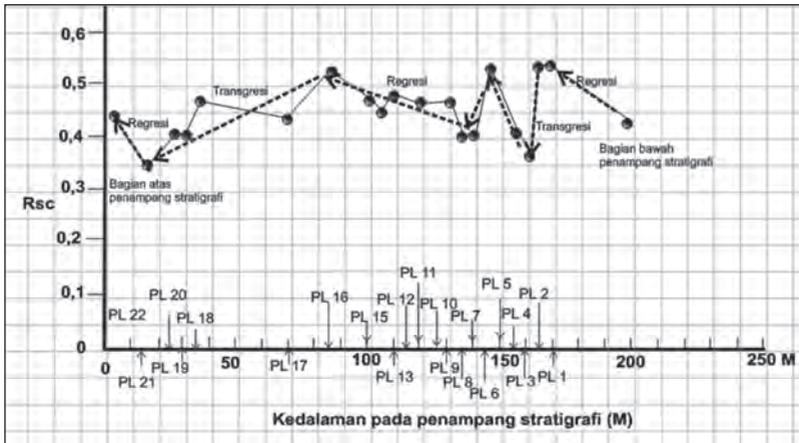
Dengan cara yang sama, dapat diperoleh grafik genang laut-susut laut dari penampang stratigrafi Formasi Merawu dan Formasi Peryatan (Gambar 4.4 dan 4.5).



Sumber: Bachri (2011)

**Gambar 4.4** Perkembangan Nilai Rasio pasir/lempung pada Anggota Batulumpur Formasi Merawu

Meskipun grafik transgresi dan regresi atau naik-turunnya muka air laut dapat menunjukkan aktivitas tektonik, namun belum dapat untuk membandingkan aktivitas tektonik antara penampang stratigrafi yang satu dengan yang lain. Hal ini mengingat kejadian transgresi dan regresi sebenarnya mengindikasikan kondisi keseimbangan antara kecepatan penurunan/pengangkatan dasar cekungan dengan kecepatan sedimentasi. Boleh jadi grafik yang mendatar justru mengindikasikan kegiatan tektonik yang aktif, misal terjadinya penurunan dasar cekungan yang cepat, namun diimbangi oleh kecepatan sedimentasi yang cepat pula.



Sumber: Bachri (2011)

**Gambar 4.5** Perkembangan Nilai Rasio Pasir/Lempung pada Penampang Stratigrafi Formasi Penyatan di Kali Pulaga

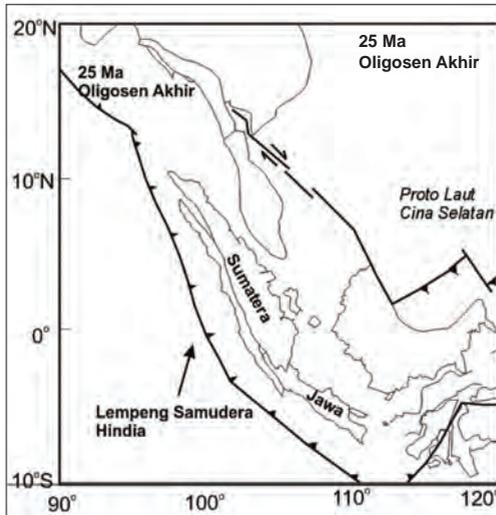
## **E. Sejarah Pengendapan dan Hubungannya dengan Tektonik dan Vulkanisme**

### **1. Eosen Tengah–Oligosen Akhir**

Berdasarkan data gaya berat, di bagian selatan daerah penelitian dijumpai rendahan Palung Bogor, yang di daerah Purbalingga disebut rendahan Bobotsari. Di selatan rendahan merupakan tinggian Pegunungan Serayu Selatan. Rendahan tersebut diduga merupakan graben yang terbentuk pada Eosen Awal. Setelah itu, pada sekitar Eosen Tengah–Oligosen terbentuk gunung api yang terletak di selatan Palung Bogor. Letak gunung api tersebut mengacu pada penelitian Soeria-Atmadja dkk. (1994) yang menyatakan pada Paleogen lajur vulkanik masih berada di Pulau Jawa bagian selatan.

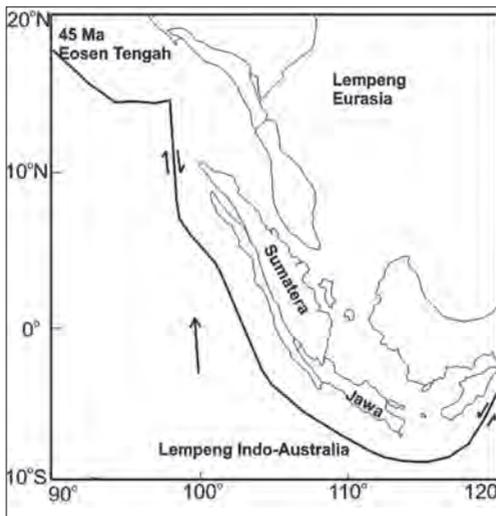
Bersamaan dengan kegiatan gunung api tersebut terjadi pengendapan Formasi Worawari di Cekungan Serayu (Palung Bogor dan daerah cekungan sebelah utaranya) pada lingkungan laut dalam, dengan material terutama bersumber dari erosi Pegunungan Serayu Selatan, bercampur dengan hasil erupsi gunung api. Sementara itu, dari arah utara terjadi longsoran-longsoran batugamping numulit yang membentuk olistolit di bagian bawah Formasi Worawari. Pada saat itu, tinggian Pegunungan Serayu Utara masih berada di atas muka air laut sehingga Cekungan Serayu merupakan cekungan busur-belakang.

Berdasarkan Hall (1996) yang merekonstruksi gerakan lempeng selama Kenozoikum di Asia Tenggara, pada Eosen Tengah hingga Oligosen Akhir kedudukan Pulau Jawa mempunyai poros panjang baratlaut–tenggara (Gambar 4.6a, b). Dengan demikian, paleogeografi daerah Purbalingga pada Eosen Tengah–Oligosen Akhir, yang ditandai oleh arus purba berarah hampir utara–selatan (arah sekarang) adalah seperti terlihat pada Gambar 4.7.



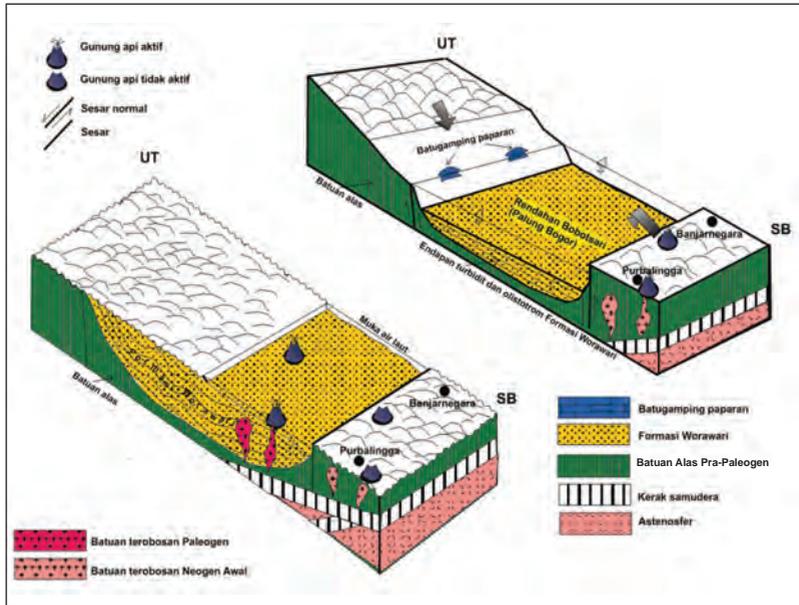
Sumber: Hall (1996)

**Gambar 4.6a** Kedudukan Pulau Jawa dan Sekitarnya pada Oligosen Akhir



Sumber: Hall (1996)

**Gambar 4.6b** Kedudukan Pulau Jawa dan Sekitarnya pada Eosen Tengah



Sumber: Bachri (2011)

**Gambar 4.7** Diagram paleogeografi Cekungan Serayu pada Paleogen (tidak menurut skala), sewaktu diendapkannya Formasi Worawari.

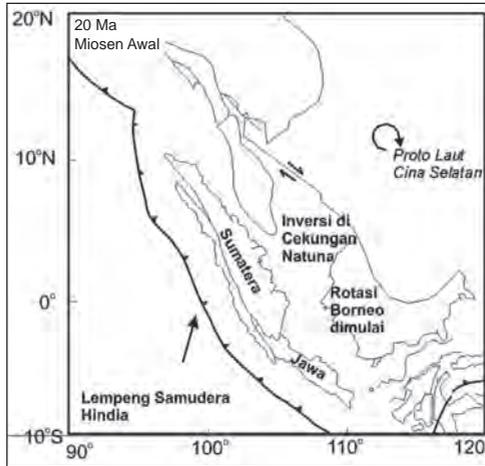
Hasil penelitian ini berbeda dengan penelitian sebelumnya (Condon dkk., 1975 dan Condon dkk., 1996) yang menyebutkan nama formasi adalah Totogan, bukan Worawari. Sementara Formasi Totogan lokasi tipenya berada di Pegunungan Serayu Selatan, atau pada Cekungan Banyumas (Anonim, 1989a). Sementara itu, Formasi Worawari terdapat di Cekungan Serayu. Arah arus purba pun menunjukkan bahwa Formasi Worawari diendapkan dari sebelah utara cekungan ke arah selatan. Lingkungan laut dalam antara lain ditunjukkan oleh konfigurasi data gaya berat yang menunjukkan daerah tersebut adalah Palung Bogor atau Rendahan Bobotsari.

## 2. Miosen Awal–Miosen Tengah

Pada Miosen Awal–Miosen Tengah (N4-N13) terjadi genang laut yang menyebabkan muka air laut menggenangi tinggian Pegunungan Serayu Selatan sehingga Cekungan Serayu menjadi cekungan busur muka, seiring dengan bergesernya lajur vulkanik ke arah utara. Pergeseran lajur vulkanik tersebut diduga karena lajur tunjaman di Samudra Hindia maju ke utara. Penafsiran paleogeografi ini diperkuat oleh adanya arah arus purba pada Formasi Merawu di Kali Tulis yang mengarah ke selatan (arah sekarang). Formasi Merawu sendiri terbentuk pada dataran pasang surut hingga sebagian di lingkungan laut dangkal. Condon dkk. (1975 dan 1996) menyebutnya sebagai Formasi Rambatan, namun nama ini juga digunakan untuk penamaan formasi-formasi seumur yang dijumpai di Pegunungan Serayu Selatan. Formasi Rambatan banyak ditafsirkan sebagai endapan turbidit pada lingkungan kipas bawah laut (Djuri, 1975).

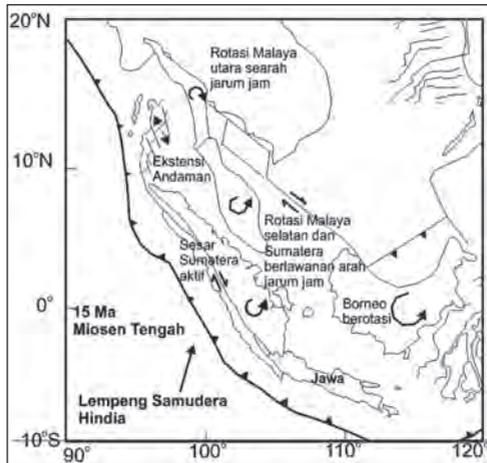
Dalam buku ini Formasi Merawu ditafsirkan bahwa sebagian besar diendapkan pada lingkungan dataran pasang-surut, dan sebagian kecil lingkungan laut dangkal. Hal ini ditunjukkan oleh keberadaan struktur sedimen *herringbone* yang dijumpai tersebar di Kali Tulis, Kali Tengah, Kali Merawu dan di sungai-sungai lainnya. Pada penelitian ini digunakan nama Formasi Merawu (van Bemmelen, 1949) karena memang singkapan terbaiknya dijumpai di sepanjang Kali Merawu.

Kegiatan vulkanisme pada periode ini meningkat dibanding dengan sebelumnya sebagaimana ditunjukkan oleh meningkatnya jumlah penyusun batuan asal vulkanik ( $R_v + G_v$ ). Demikian juga kegiatan tektonik meningkat pula sebagaimana ditunjukkan semakin menipisnya tebal rata-rata lapisan batuan.



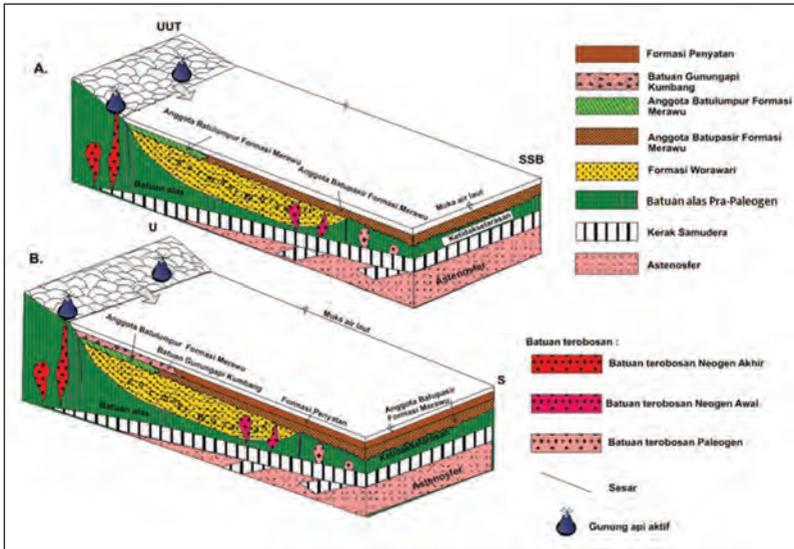
Sumber: Hall (1996)

**Gambar 4.8a** Kedudukan Pulau Jawa dan Sekitarnya pada Miosen Awal



Sumber: Hall (1996)

**Gambar 4.8b** Kedudukan Pulau Jawa dan Sekitarnya pada Miosen Tengah



Sumber: Bachri (2011)

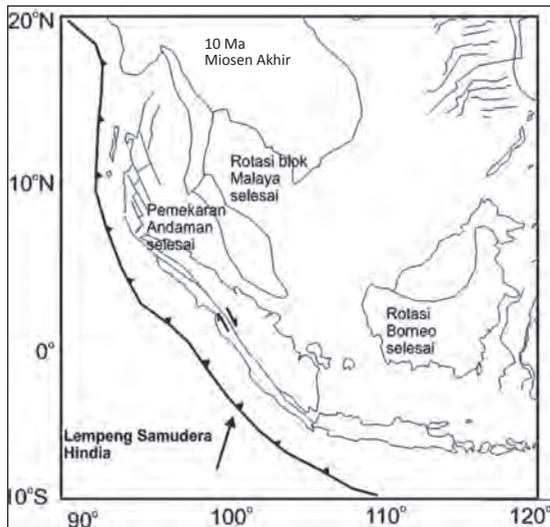
**Gambar 4.9** Diagram paleogeografi Cekungan Serayu pada Miosen Awal–Miosen Tengah (A), dan pada Miosen Akhir (B) (tidak menurut skala), sewaktu pengendapan Formasi Merawu (A) dan Formasi Penyatatan (B).

Kedudukan Pulau Jawa pada waktu itu (Miosen Awal–Miosen Tengah) ditandai dengan arah sumbu panjang baratdaya–tenggara (Gambar 4.8 a, b). Atas dasar hal ini, paleogeografi daerah Purbalingga dapat digambarkan sebagaimana tersaji dalam Gambar 4.9A.

### 3. Miosen Akhir–bagian bawah Pliosen Awal

Setelah pengendapan Formasi Merawu terjadi transgresi sehingga terbentuk lingkungan laut dalam. Kemudian terjadi aktivitas gunung api yang mencapai puncaknya hingga terjadi pengendapan Batuan Gunung api Kumbang di bagian distal, sedangkan di bagian proksimal terbentuk sedimen turbidit Formasi Penyatatan. Sementara itu, kegiatan vulkanisme juga menghasilkan batuan-batuan

terobosan yang berupa retas-retas diorit sebagaimana dijumpai di daerah Banjarnegara. Pada saat itu, pengendapan berasal dari arah utara atau barat laut sebagaimana ditunjukkan oleh arus purba



Sumber: Hall (1996)

**Gambar 4.10** Kedudukan Pulau Jawa pada Miosen Akhir

pada Formasi Penyatan di Kali Tembra. Arah arus purba tersebut sama dengan arah pada waktu sekarang, karena posisi Pulau Jawa pada Miosen Akhir sudah seperti sekarang (Hall, 1996), yaitu sumbu panjang berorientasi barat-timur (Gambar 4.10). Dengan demikian, paleogeografi daerah Cekungan Serayu pada Miosen Akhir dapat digambarkan sebagaimana tersaji pada Gambar 4.9B.

Pada periode ini satuan batuan yang terbentuk sama seperti hasil penelitian sebelumnya, yaitu Formasi Kumbang dan Formasi Penyatan (van Bemmelen, 1949). Perbedaannya pada Condon dkk. (1975 dan 1996) Formasi Penyatan disebut sebagai Formasi Halang yang juga merupakan endapan turbidit di laut dalam, namun nama tersebut tidak digunakan dalam tulisan ini mengingat nama formasi

tersebut sudah digunakan untuk daerah lain, misal di Cekungan Banyumas (Asikin dkk., 1992).

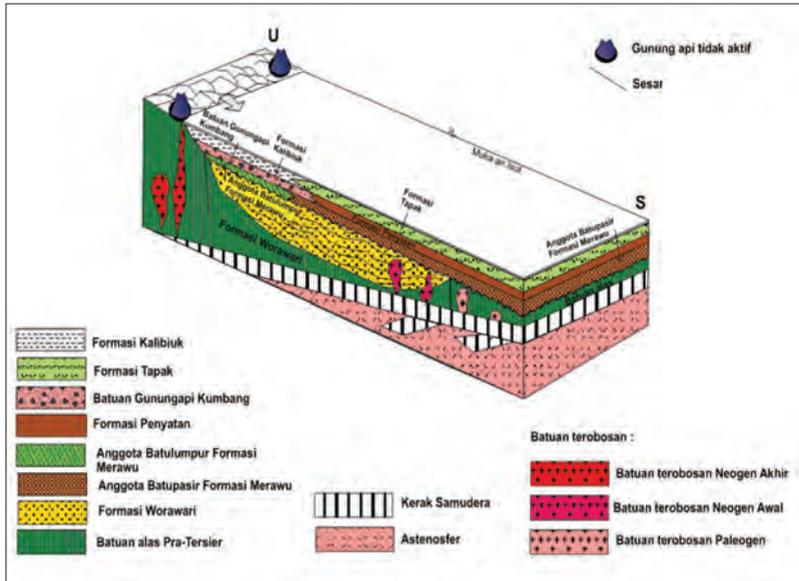
Kegiatan tektonik pada Miosen Akhir–Pliosen Awal mencapai puncaknya sebagaimana ditunjukkan oleh frekuensi lapisan yang paling besar dibanding dengan waktu-waktu sebelumnya. Demikian juga halnya dengan kegiatan gunung api mencapai puncaknya sebagaimana ditunjukkan oleh terbentuknya Batuan Gunung api Kumbang. Setelah itu terjadi regresi atau susut laut sehingga terbentuk lingkungan laut dangkal dan transisi, serta diikuti pembentukan Formasi Tapak dan Formasi Kalibiuk.

#### **4. Pliosen Awal–Pliosen Tengah Bagian Bawah**

Pada tahap ini diendapkan Formasi Tapak dan Kalibiuk yang saling menjemari, selaras di atas Formasi Penyatan dan Batuan Gunung api Kumbang. Formasi Tapak diendapkan pada lingkungan laut dangkal, sedangkan Formasi Kalibiuk diendapkan pada lingkungan laut dangkal sampai transisi. Formasi Kalibiuk didominasi oleh batulempung gampingan, sedangkan Formasi Tapak didominasi oleh batulempung gampingan berselingan dengan napal.

Pada Formasi Kalibiuk di Kali Muli didapatkan struktur perlapisan silang-siur pada sisipan batupasir. Dari pengukuran struktur sedimen tersebut, seperti dikemukakan di muka, diketahui bahwa arus purba mengarah ke tenggara sampai selatan sehingga sumber pengendapan berasal dari barat laut-utara (Gambar 4.11).

Pada tulisan ini tidak dilakukan analisis kuantitatif pada Formasi Tapak dan Kalibiuk, namun melihat tebal rata-rata lapisan relatif tebal, kedudukan lapisan rata-rata landai, sekitar  $10^\circ$ , serta litologi yang didominasi oleh batulempung gampingan dan napal, maka diduga aktivitas tektonik dan kegiatan gunung api pada Plio-



Sumber Bachri (2011)

**Gambar 4.11** Diagram paleogeografi Cekungan Serayu pada N19-N20 (Pliosen Awal–Pliosen Tengah bagian bawah) ditandai oleh pengendapan Formasi Tapak dan Formasi Kalibiuk selaras di atas Formasi Penyatatan dan Batuan Gunungapi Kumbang.

sen Awal–Pliosen Tengah menurun. Pada waktu itu, tidak terjadi erupsi gunung api yang berarti, kemungkinan disebabkan oleh terjadinya penurunan kecepatan tunjaman di Samudera Hindia. Namun, sempat terjadi penerobosan oleh retas-retas diorit yang sekarang dijumpai di beberapa tempat di daerah Banjarnegara.



## BAB V PENUTUP

**B**erdasarkan pembahasan dapat ditarik beberapa kesimpulan bahwa respons batuan sedimen terhadap kegiatan tektonik adalah sebagai berikut; pertama, terdapat perbedaan yang signifikan terhadap nilai variabel rasio pasir/lempung, frekuensi lapisan batuan, dan ketebalan rata-rata lapisan batuan pada populasi-populasi berumur Miosen Tengah sampai Miosen Akhir–Pliosen Awal. Nilai rasio pasir/lempung dan frekuensi lapisan batuan semakin tinggi, sedangkan nilai variabel ketebalan rata-rata lapisan batuan semakin kecil ke arah umur lebih muda. Hal ini menunjukkan kegiatan tektonik yang meningkat ke arah umur yang lebih muda, paling tidak mulai dari Miosen Tengah hingga Miosen Akhir–Pliosen Awal.

Kedua, terdapat perbedaan yang signifikan jumlah material penyusun asal vulkanik, dengan jumlah semakin besar pada populasi (satuan batuan) yang berumur lebih muda, mulai dari Paleogen hingga Neogen Awal. Hal tersebut menunjukkan bahwa sejak Paleogen sampai Neogen Awal terjadi peningkatan intensitas kegiatan gunung api. Lebih lanjut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kegiatan tektonik telah memicu intensitas kegiatan gunung api meningkat.

Cekungan Serayu terbentuk sejak Eosen Tengah yang diduga terbentuk oleh proses pembentukan graben yang menyebabkan terjadinya Rendahan Bobotsari (Palung Bogor) sebagai cekungan busur belakang. Pada Eosen Tengah hingga Oligosen Akhir terjadi pengendapan Formasi Worawari. Pada bagian atas Oligosen Akhir (N3) terjadi pengangkatan diikuti oleh pelipatan dan erosi. Pada Miosen Awal–Miosen Tengah (N4-N13) terjadi genang laut yang menyebabkan muka air laut menggenangi tinggian Pegunungan Serayu Selatan sehingga Cekungan Serayu menjadi cekungan busur muka, seiring dengan bergesernya lajur vulkanik ke arah utara. Pergeseran lajur vulkanik tersebut diduga karena lajur tunjaman di Samudera Hindia maju ke utara. Pada saat itu, diendapkan Formasi Merawu pada lingkungan dataran pasang–surut sampai laut dangkal.

Pada Miosen Akhir–bagian bawah Pliosen Awal terjadi transgresi sehingga terbentuk lingkungan laut dalam. Kemudian terjadi aktivitas gunung api yang mencapai puncaknya hingga terjadi pengendapan Batuan Gunung api Kumbang di bagian distal. Sementara di bagian proksimal terbentuk sedimen turbidit Formasi Penyatan. Sementara itu, kegiatan vulkanisme juga menghasilkan batuan-batuan terobosan yang berupa retas-retas diorit sebagaimana dijumpai di daerah Banjarnegara. Kegiatan tektonik pada Miosen Akhir–Pliosen Awal mencapai puncaknya sebagaimana ditunjukkan oleh frekuensi lapisan yang paling besar dibanding dengan waktu-waktu sebelumnya. Demikian juga halnya dengan kegiatan gunung api yang mencapai puncaknya sebagaimana ditunjukkan oleh terbentuknya Batuan Gunung Api Kumbang. Setelah itu terjadi regresi atau susut laut sehingga terbentuk lingkungan laut dangkal dan transisi, dan diikuti pembentukan Formasi Tapak dan Formasi Kalibiuk.

Untuk mengetahui proses pergeseran lajur vulkanik seiring bergesernya lajur tunjaman perlu dilakukan penelitian terperinci mengenai umur batuan vulkanik dengan metode penarikan radiometri. Selain itu, perlu dilakukan pemetaan arah arus purba secara lebih merata di seluruh wilayah penelitian agar supaya penafsiran arah pengendapan lebih mencerminkan keadaan yang sebenarnya. Kemudian daripada itu, juga perlu dilakukan penelitian stratigrafi lebih lanjut dengan berdasarkan variabel-variabel perlapisan seperti yang digunakan dalam penelitian yang telah dilakukan. Penelitian tersebut khususnya untuk Cekungan Serayu, dan umumnya untuk daerah lain yang dikuasai oleh batuan-batuan asal gunung api. Hal ini mengingat daerah yang dikuasai oleh batuan asal gunung api umumnya kurang mengandung fosil indeks sehingga menyulitkan korelasi antar satuan batuan.



# DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2009a). *Peta Cekungan Sedimen Indonesia Berdasarkan Data Geologi dan Gayaberat*. Pusat Survei Geologi, Badan Geologi.
- Anonim. (2009b). Persamaan garis lurus. Dikutip pada 5 Juni 2009 dari [http://www.matkita.com/pg\\_lurus.php](http://www.matkita.com/pg_lurus.php).
- Anonim. (2011). Information about flysch. Dikutip pada 21 Mei 2011 dari <http://english.turkcebilgi.com/Flysch>.
- Asikin, S., Handoyo, A, Pratistho, B. dan Gafoer, S. (1992). *Peta Geologi Lembar Banyumas, Jawa, skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Bachri, S. (2011). *Karakteristik fasies sedimen paleogen–neogen cekungan serayu sebagai respons atas kegiatan tektonik dan vulkanisme* (Disertasi Program Pasca Sarjana). Universitas Padjadjaran, Bandung, 130 hlm.
- Bachri, S., Agustiyanto, D. & Hutubessy, S. (2006). *Evolusi cekungan paleogen–neogen daerah Banjarnegara, Jawa Tengah*. Pusat Survei Geologi. Laporan penelitian, tidak terbit.
- Bachri, S., Agustiyanto, D.A., Sihombing, T. & Hutubessy, S. (2007). *Evolusi cekungan paleogen–neogen daerah Banjarnegara–Purbalingga dan sekitarnya, Jawa Tengah*. Pusat Survei Geologi, Bandung. Laporan penelitian, tidak terbit.
- Bachri, S., Agustiyanto, D.A. & Slameto, E. (2008). *Penelitian evolusi cekungan paleogen-neogen daerah Banjarnegara-Purbalingga, Jawa Tengah*. Laporan Akhir, Pusat Survei Geologi, Bandung, tidak terbit.

- Bachri, S. & Panggabean, H. (2008). *Sedimentologi endapan paleogen di pegunungan serayu utara*. Dalam: Studi dinamika cekungan paleogen-neogen dan geologi sumberdaya energi di beberapa lokasi terpilih di Jawa, Sumatera, Kalimantan dan Sulawesi. Laporan Kegiatan Desk Work Kelompok Program Penelitian Dinamika Cekungan tahun 2008. Pusat Survei Geologi, Bandung, tidak terbit.
- Blow W.H. (1969). Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminifera biostratigraphy. *Int. Conf. Plank. Microfossil* 1st, 1967, Geneve, Vol. 1: 199–422.
- Boogs, Jr., S. (2001). *Principles of sedimentology and stratigraphy*. 3rd, Prentice Hall, New Jersey, 726p.
- Bronto, S., Bijaksana, S., Sanyoto, P., Ngkoimani, L., Hartono, G., & Mulyaningsih, S. (2004). Tinjauan vulkanisme Paleogen Jawa (Preliminary Study of Jawa Paleogene Volcanism). Makalah dalam Lokakarya *Stratigraf Paleogen Jawa*, 28-29 September 2004, UGM, Yogyakarta.
- Condon, W.H., Pardiyanto, L. & Ketner, K.B. (1975). *Peta Geologi Lembar Banjarnegara dan Pekalongan, skala 1 : 100.000*. Direktorat Geologi, Bandung.
- Condon, W.H., Pardiyanto, L., Ketner, K.B., Amin, T.C., Gafoer, S. & Samodra, H. (1996). *Peta Geologi Lembar Banjarnegara dan Pekalongan, Jawa, skala 1 : 100.000*. Edisi ke-2, Puslitbang Geologi, Bandung.
- Djuri. (1975). *Peta Geologi Lembar Purwokerto dan Tegal, skala 1 : 100.000*. Direktorat Geologi, Bandung.
- Folk, R.L. (1980). *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill Publishing Company, Austin, Texas.
- Hall, R. (1996). Reconstructing Cenozoic SEAsia, In: Hall, R. & Blundell, D. (eds), 1996, Tectonic Evolution of Southeast Asia. *Geological Society Special Publication* No.106, pp.153–184.
- Hamilton, W. (1979). *Tectonics of the Indonesian Region*. Geological Survey Professional Paper 1078, Washington.
- Kabe, D. G. (1985). On some multivariate statistical methodology with applications to statistics, psychology, and mathematical programming. *Journal of the Industrial Mathematics Society*, 35, 1–18.

- Katili, J. A. (1975). Volcanism and plate tectonics in the Indonesian island arcs. *Tectonophysics* 26: 165–188.
- Katili, J.A. (1989). Evolution of the southeast asian arc complex. *Geol. Indon.* Vol.12, No. 1 : 113–143.
- Levin, H.L. (2005). The earth through time. Dikutip pada 2 Juni 2011 dari [http://higheredbcs.wiley.com/legacy/college/levin/0471697435/chap\\_tut/chaps/chaper05-11.html](http://higheredbcs.wiley.com/legacy/college/levin/0471697435/chap_tut/chaps/chaper05-11.html)
- Leeder, M.R. (1982). *Sedimentology, Process and Product*. George Allen & Unwin, London, 344 h.
- Martini, E. (1971). Tertiary calcareous nannoplankton from the western equatorial Pacific. In Winterer, E. L. et al, 1971, *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Volume VII*. Washington (U. S. Government Printing Office), 1471
- Martodjojo, S. (2003). *Evolusi Cekungan Bogor*. Penerbit ITB, Bandung.
- Ngkoimani, Bijaksana, S., Utoyo, H. & Permanadewi, S. (2004). Data baru umur absolut batuan beku dari daerah Istimewa Yogyakarta dengan metode K-Ar. Makalah dalam Lokakarya *Stratigrafi Paleogen Jawa*, 28–29 September 2004, UGM, Yogyakarta.
- Powell, D.E. (1976). The geological evolution of the continental margin of Northwest Australian *Petroleum Exploration Association Journal*, Vol. 16, No. 13–23.
- Pulunggono, A. & Martodjojo, S. (1994). Perubahan tektonik paleogen–neogen merupakan peristiwa tektonik terpenting di Jawa. *Proceedings Geologi dan Geotektonik Pulau Jawa*: 37–50.
- Pubellier, M., Rangin, C., & Le Pichon, X. (2005). Deep offshore tectonics of southeast Asia, a synthesis of deep marine data in Southeast Asia. *Memoires de la Société géologique de France*.
- Rancher, A. C. (1998). *Multivariate Statistical Inference and Applications*. New York: Wiley.
- Rancher, A.V. (2002). *Methods of multivariate analisis*. John Wiley and Sons, Second Edition.
- Rosalina (2005). *Analisis statistik menggunakan aplikasi excel*. Cetakan Pertama. CV Alfabeta: Bandung.

- Smyth, H. (2005). *Volcanism and basement character onshore East Java: Impacts on sediment provenance and basin development* (Ph.D. Thesis). Royal Holloway University of London, unpublished.
- Soeria-Atmadja, R., Bellon, R.C., Pringgoprawiro, H., Polve, M. & Priadi, B. (1994). Tertiary magmatic belts in Java. *Journal of South East Science*, 9, No. 1–2: 13–27.
- Sujanto, F.X. & Sumantri, Y.R. (1975). Preliminary study on the tertiary depositional patterns of Java. *Proceedings Indonesian Petroleum Association*. Sixth Annual Convention.
- van Bemmelen, R.W. (1937). *Toelichting bij Blad 66 (Karangkobar), Geologie Kaar van Java, 1: 100.000*. Dienst Mijn Bouw Ned, Indie, Jakarta.
- van Bemmelen, R.W. (1949). *The Geology of Indonesia: General Geology Indonesia and adjacent archipelagoes*. Vol. 1A, 742. Government Printing Office, Martinus Nijhoff, The Hague.
- Willian, R.C.R. (2003). Provenance of Triassic–Cretaceous sandstone in Atlantic Peninsula: Implication for Terrane Models During Gondwana Breakup. *Journal of Sedimentary Research*, 73 (6): 1062–1077.

# DAFTAR ISTILAH

**Anomali residual** adalah nilai anomali Bouguer dikurangi nilai gaya berat regional.

**Arah arus purba** adalah arah transportasi pengendapan sedimen dalam cekungan yang terjadi pada masa lampau.

**Bancuh** adalah batuan campur-aduk yang terjadi karena proses tektonik.

**Batuan alas** adalah batuan yang mengalasi endapan atau batuan sedimen di atasnya dalam suatu cekungan.

**Batuan asal** (*provenence*) adalah batuan yang merupakan asal rombongan suatu satuan batuan.

**Cekungan** adalah tempat yang lebih rendah dari sekitarnya dan merupakan tempat diendapkannya sedimen.

**Cekungan antar-gunung** adalah cekungan yang terletak di dalam busur gunung api.

**Cekungan busur belakang** adalah cekungan yang terletak antara busur dalam (busur gunung api) dengan kontinen.

**Cekungan busur muka** adalah cekungan yang terletak antara busur luar (busur nongunung api) dengan busur dalam (busur gunung api).

**Diagenesis** adalah proses pembatuan yang terjadi setelah sedimen diendapkan, meliputi proses kompaksi, penggantian mineral (*replacement*) dan sementasi.

- Endapan turbidit** adalah endapan yang proses transportasi pengendapannya melalui arus turbid.
- Fasies distal** adalah fasies atau endapan yang terbentuk paling dekat dengan sumber atau batuan asal.
- Fasies proksimal** adalah fasies atau endapan yang terbentuk paling jauh dari sumber atau batuan asal.
- Hipotesis** adalah kesimpulan sementara yang belum diuji atau diverifikasi.
- Kedewasaan mineralogi** adalah derajat kandungan mineral stabil dalam sedimen, semakin tinggi persentase kandungan mineral stabil semakin tinggi pula kedewasaan mineraloginya.
- Kedewasaan tekstur** adalah derajat kandungan lempung atau matriks, pilahan dan kebundaran butir; dikatakan kedewasaan tekstur tinggi apabila lempung semakin sedikit, pilahan semakin tinggi, dan bentuk butir semakin membesar.
- Kegiatan gunung api tumpang-tindih (*superimposed*)** adalah kegiatan gunung api yang dari waktu ke waktu menempati suatu lajur magmatik yang sama.
- Kekar** adalah suatu retakan pada batuan yang belum/tidak mengalami pergeseran pada bidang retakannya.
- Kekar gerus** adalah kekar yang terbentuk oleh gaya kompresi yang biasanya membentuk sepasang kekar seperti gunting dan bidang rekahnya bersifat tertutup.
- Kekar tarik** adalah kekar yang terbentuk oleh gaya tarik, atau tegak lurus terhadap gaya, biasanya tidak berpasangan dan bidang rekahnya bersifat terbuka.
- Kekar hibrid** adalah campuran dari kekar gerus dan kekar tarik yang pada umumnya rekahnya terisi oleh mineral sekunder.
- Korelasi** adalah penghubungan antara suatu satuan batuan dan satuan batuan lainnya berdasarkan kesamaan umur.
- Lingkungan pengendapan pasang-surut** adalah lingkungan pengendapan yang terletak antara titik terendah (*low tide*) dengan titik tertinggi (*high tide*) gelombang pasang di tepi pantai.

**Zone/lingkungan *mixed flat*** adalah bagian dari lingkungan pengendapan pasang surut yang terletak pada peralihan atau transisi antara *mud flat* dan *sand flat*, serta dicirikan oleh adanya campuran lapisan batupasir dan batulumpur.

**Zone/lingkungan *mud flat*** adalah bagian dari lingkungan pengendapan pasang surut yang paling dekat ke daratan, yang dicirikan oleh dominasi endapan berbutir lempung atau lumpur.

**Zone/lingkungan *sand flat*** adalah bagian dari lingkungan pengendapan pasang surut yang terletak paling dekat dengan laut, serta dicirikan oleh dominasi endapan berbutir pasir.

**Metode probabilistik atau metode kuantitatif** adalah pendekatan mencari kesimpulan melalui verifikasi dengan menggunakan variabel-variabel terukur.

**Olistolit** adalah bongkah di dalam olistostrom.

**Olistostrom** adalah batuan campur aduk yang terjadinya karena proses sedimentasi atau longsoran.

**Paleogeografi** adalah gambaran rekonstruksi sebaran lingkungan pengendapan pada masa lampau tertentu, misal paleogeografi pada Miosen Atas.

**Pemekaran** adalah proses terbelahnya benua ataupun dasar samudera yang kemudian membuka diakibatkan karena adanya gerakan arus konveksi dari bawah.

**Populasi** adalah wilayah generalisasi yang terdiri atas, obyek/subjek yang mempunyai kuantitas dan karakteristik tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan kemudian ditarik kesimpulannya.

**Pusat pengendapan (*depocenter*)** adalah bagian terdalam pada suatu cekungan sedimen.

**Regresi** adalah peristiwa saat laju sedimentasi lebih besar dari laju penurunan dasar cekungan.

**Struktur tulang-ikan (*herringbone structure*)** adalah struktur sedimen yang berbentuk seperti tulang-ikan sebagai penciri telah terjadi arus bolak-balik selama proses pengendapan sedimen, dan merupakan penciri lingkungan pasang-surut.

**Transgresi** adalah peristiwa saat laju sedimentasi lebih kecil dari dari laju penurunan dasar cekungan.

**Uji statistik** dalam analisis hubungan dimaksudkan untuk mengetahui signifikan atau tidaknya hubungan antarvariabel.

**Uji normalitas** adalah pengujian statistik untuk mengetahui apakah variabel yang diteliti berdistribusi normal atau tidak, karena untuk melakukan analisis statistik parametrik diperlukan data sampel berdistribusi normal.

**Uji homogenitas** adalah pengujian statistik yang dimaksudkan untuk memastikan bahwa kelompok data berasal dari populasi yang homogen.

**Variabel** adalah suatu besaran yang dapat diubah atau berubah sehingga dapat mempengaruhi peristiwa atau hasil penelitian.

**Verifikasi** adalah konfirmasi, melalui penyediaan bukti objektif, bahwa persyaratan yang ditentukan telah dipenuhi. Dalam ilmu statistik, verifikasi ini dimaksudkan untuk menguji suatu hipotesis dengan variabel-variabel terukur.

# INDEKS

- analisis, xviii, 8, 11, 12, 15, 22, 30, 35, 39, 41, 46, 47, 51, 52, 53, 60, 61, 66, 99, 102, 105, 120, 134
- Analisis korelasi dan regresi linier sederhana, 65
- analisis kuantitatif, 8, 35, 52, 120
- analisis laboratorium, 30, 51
- analisis paleontologi, 11, 12, 15, 22, 46, 47
- analisis SEM, 99
- analisis statistik, 51, 134
- Anggota Batulumpur, 17, 63, 65, 83, 84, 94, 95, 97, 106
- Anggota batupasir, 65
- anomali residual, 38, 39, 42
- apatit, 101
- arah, 5, 8, 9, 17, 18, 19, 23, 30, 39, 59, 61, 66, 99, 103, 107, 113, 115, 116, 118, 119, 123, 124, 125, 131
- arah arus purba, 8, 9, 17, 19, 99, 116, 125
- Arkean, 101
- arus turbid, 132
- Assilina, 14
- bancuh, 38
- Bandung, xviii, 127, 128, 129, 141
- Bantul, 100, 141
- basa, 38
- Bathysiphon, 12, 41
- batuan, xvii, xviii, 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 18, 22, 30, 35, 38, 39, 40, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 58, 59, 61, 62, 67, 68, 69, 71, 72, 73, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 93, 94, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 116, 118, 119, 123, 124, 125, 129, 131, 132, 133
- batuan alas, 39, 40, 101, 102
- batuan asal, 6, 8, 49, 52, 53, 54, 57, 61, 67, 71, 72, 73, 78, 81, 99, 100, 101, 102, 116, 125, 132
- batuan beku, 38, 129
- batuan gunung api, 1, 3, 58, 59, 99, 102
- Batuan Gunung api Kumbang, 118, 120, 124

batuan malihan, 38, 100, 101, 102  
 batuan sedimen, xvii, xviii, 2, 6, 7,  
     8, 9, 39, 40, 53, 54, 58, 59,  
     102, 123, 131  
 batuan sumber, 6, 57  
 batuan terobosan, 118, 124  
 batuan waduk, xvii  
 batulanau, 29  
 batulempung, 21, 43, 47, 108, 109  
 batulumpur, 133  
 batupasir, 65, 100, 108, 109, 133  
 batusabak, 100  
 bentuk butiran, 55  
 benua, 53, 101, 105, 133  
 Benua Antartika-Australia, 3  
 benua Australia, 101  
 Benua India, 3  
 berdistribusi normal, 60, 67, 68, 69,  
     70, 71, 72, 134  
 Bobotsari, 39, 40, 113, 115, 124  
 breksi, 29, 33, 36, 58  
 bukit setangkup, 60  
 busur, 6, 53, 56, 100, 113, 116, 124,  
     131  
 busur kepulauan, 56  
 Busur Sunda, 3, 6, 7  
 busur vulkanik, 6, 53  
 cekungan, xv, 1, 5, 6, 7, 9, 55, 57,  
     58, 59, 61, 112, 113, 115,  
     116, 124, 127, 128, 131, 133,  
     134  
 Cekungan Bogor, 129  
 cekungan busur belakang, 6, 124  
 cekungan busur muka, 116, 124  
 cekungan samudera, 55  
 Cekungan Serayu, i, iii, xv, xvi, xvii,  
     xviii, 1, 2, 11, 39, 58, 99,  
     101, 102, 106, 113, 115, 116,  
     118, 119, 121, 124, 125  
 Cyclamina, 12, 41  
 dasitan, 53  
 dataran lumpur, 59, 107  
 dataran pasang surut, 16, 17, 107,  
     116  
 dataran pasir, 59, 107  
 depocenter, xvii, 133  
 Desa Makam, 20, 21, 35  
 Diagenesis, 131  
 dinamika cekungan, 7, 128  
 distal, 59, 118, 124, 132  
 endapan turbidit, 18, 116, 119  
 energi lingkungan pengendapan,  
     64, 96, 106  
 Eosen, 3, 11, 12, 14, 103, 104, 105,  
     106, 113, 114, 115, 124  
 Eosen Akhir, 11, 12, 103  
 Eosen Awal, 3, 113  
 episode magmatisme, 53  
 evolusi, xviii, 2, 5, 7, 9, 61, 99, 127  
 evolusi cekungan, 5, 9, 127  
 evolusi geologi, 7  
 evolusi stratigrafi dan tektonik,  
     xviii  
 fasies, 6, 7, 8, 24, 51, 52, 55, 59, 63,  
     64, 94, 95, 96, 104, 105, 108,  
     127, 132  
 fasies sedimen, 7, 8, 55, 63, 64, 94,  
     95, 96, 127  
 fasies turbidit, 59  
 felspar, 58  
 fenomena, 55, 61  
 flute cast, 17  
 foraminifera, 14, 18, 20, 21, 22, 41,  
     42, 43, 45, 47, 128  
 Formasi, 1, 11–38, 41, 43, 44, 45,

- 47, 48, 49, 51, 52, 53, 58, 59,  
61–73, 82–95, 97, 99–109,  
111, 112, 113, 115, 116, 118,  
119, 120, 121, 124
- Formasi Halang, 1, 18, 59, 119
- Formasi Kalibiuk, 22, 23, 24, 35,  
38, 47, 120, 121, 124
- Formasi Kumbang, 58, 59, 119
- Formasi Merawu, 12, 14–18,  
24–31, 33, 43, 44, 45, 47, 48,  
49, 51, 52, 59, 62, 63, 64, 65,  
66, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 82,  
83, 84, 85, 86, 87, 88, 91, 95,  
97, 99, 103, 104, 105, 106,  
107, 108, 111, 116, 118, 124
- Formasi Penyatan, 18, 19, 24, 31,  
34, 36, 45, 47, 48, 49, 51, 59,  
62, 63, 64, 65, 66, 89, 90, 95,  
97, 99, 103, 104, 105, 106,  
107, 108, 109, 111, 112, 118,  
119, 120, 121, 124
- Formasi Rambatan, 1, 15, 116
- Formasi Tapak, 11, 20, 21, 22, 23,  
24, 35, 37, 59, 120, 121, 124
- Formasi Worawari, 11, 12, 13, 14,  
24, 25, 26, 27, 30, 41, 43, 47,  
48, 51, 58, 62, 66, 67, 68, 69,  
70, 71, 72, 99, 100, 101, 102,  
103, 104, 107, 108, 111, 113,  
115, 124
- fosil jejak, 12, 17, 20, 21
- fosil jejak Cosmoraphe, 12
- fragmen batuan vulkanik, 48, 52,  
53, 54, 61, 62, 67, 68, 69, 76,  
77, 79, 80, 93, 94, 102, 103
- frekuensi lapisan, 8, 9, 25, 30, 35,  
53, 55, 61, 63, 64, 65, 82, 83,  
84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91,  
95, 96, 97, 104, 105, 120,  
123, 124
- garis diagonal, 60
- garis prob-plot, 60
- gayaberat, 131
- gelas vulkanik, 48, 52, 53, 54, 61,  
62, 69, 70, 71, 72, 77, 80, 81,  
93, 94, 99, 102, 103
- gelembur gelombang, 20
- Globigerina, 41, 45, 46, 47
- Globigerinoides, 42, 43, 44, 45,  
46, 47
- Globoquadrina, 42, 44, 45, 47
- Globorotalia, 41, 42, 44, 45, 46, 47
- Glogerinoides, 45, 47
- grewake, 39
- herringbone structure, 133
- hiatus, 12
- hipotesis, 8, 51, 54, 56, 60, 61, 66,  
92, 93, 134
- histogram, 60
- Indonesia, 1, 4, 7, 56, 105, 127, 130
- intensitas kegiatan tektonik, 7, 8,  
63, 64, 105, 106
- isotropi, 54, 104
- Jawa, i, iii, 2, 3, 4, 5, 7, 58, 100, 101,  
103, 105, 113, 114, 117, 118,  
119, 127, 128, 129
- Jawa Tengah, 2, 127
- Kabupaten, 2, 18, 20, 35
- Kabupaten Banjarnegara, 2
- Kabupaten Pemalang, 2, 18
- Kabupaten Purbalingga, 20, 35
- Kabupaten Wonosobo, 2
- Kali, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18,  
19, 20, 21, 22, 25, 26, 27, 28,  
30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37,  
38, 41, 43, 44, 45, 46, 47,

100, 101, 112, 116, 119, 120  
 Kali Gebyugan, 12, 26, 41, 101  
 Kali Karang, 20, 21, 22, 35, 37, 38  
 Kali Keang, 18, 19, 31, 45  
 Kalimantan, 7, 102, 128  
 Kali Muli, 22, 35, 38, 46, 47, 120  
 Kali Ngalang, 100  
 Kali Pulaga, 18, 31, 34, 36, 112  
 Kali Tamba, 19, 35, 119  
 Kali Tulis, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 25,  
 27, 30, 33, 43, 44, 45, 116  
 Kali Worawari, 11, 12, 14, 26, 41,  
 43, 100  
 Kapur, 3, 7, 39, 100, 101, 102, 105  
 Kapur Akhir, 3, 101  
 Kapur Awal, 3  
 karakteristik fasies sedimen, 8, 63,  
 64, 94, 95, 96  
 karakteristik sedimentologi, 7, 8,  
 51, 55, 56, 59, 60  
 Kedewasaan mineralogi, 132  
 kegiatan gunung api, xviii, 5, 8, 56,  
 57, 58, 59, 61, 62, 63, 66, 93,  
 94, 99, 113, 120, 123, 124,  
 132  
 kekar, 132  
 kekar gerus, 132  
 Kekar hibrid, 132  
 kekar tarik, 132  
 kelompok Nereit, 13  
 kerak benua, 101  
 kerak benua Australia, 101  
 ketidakselarasan, 12  
 koefisien kemiringan garis, 109  
 Kokap, 100  
 kompaksi, 131  
 kompleks akresi, 53  
 komposisi mineralogi, 48, 55  
 konglomerat, 20, 21, 22, 23, 29,  
 33, 36  
 kontur kedalaman, 39  
 Kwartir, 3, 8, 100, 103  
 Kulon Progo, 100  
 lajur magmatik, 5, 132  
 lajur tunjaman, 3, 4, 7, 56, 105,  
 116, 124, 125  
 laju sedimentasi, 6, 59, 133, 134  
 laminae karbon, 20  
 laut dalam, 12, 43, 54, 113, 115,  
 118, 119, 124  
 laut dangkal, 14, 17, 20, 21, 22, 59,  
 116, 120, 124  
 lava, 58  
 lempeng, 3, 54, 56, 100, 113  
 Lempeng Antartika, 3  
 Lempeng Samudera, 3  
 lingkungan pengendapan, 1, 6, 7, 9,  
 11, 14, 16, 17, 23, 43, 44, 46,  
 47, 51, 54, 55, 58, 59, 64, 96,  
 99, 106, 107, 132, 133  
 litharenit, 53  
 menjemari, 15, 16, 22, 120  
 Meratus, 3, 5, 6  
 metode probabilistik, 51  
 mineral, 57, 131, 132  
 mineral stabil, 57, 132  
 Miosen Akhir, 18, 46, 58, 59, 118,  
 119, 120, 123, 124  
 Miosen Awal–Miosen Tengah, 12,  
 15, 42, 44, 116, 118, 124  
 Miosen Tengah, 12, 15, 42, 44, 45,  
 59, 116, 117, 118, 123, 124  
 mixed flat, 133  
 moluska, 20, 21, 22  
 mud flat, 107, 133  
 nano, 43, 44

Neogen, i, iii, xvii, xviii, 2, 3, 5, 6,  
     7, 8, 9, 35, 51, 58, 59, 100,  
     106, 123  
 nikol bersilang, 100  
 Nodosaria, 41, 44  
 Oligosen, 3, 12, 41, 42, 43, 103,  
     104, 105, 106, 113, 114, 115,  
     124  
 Oligosen Awal, 3  
 olistolit, 14, 113  
 olistostrom, 133  
 orogenesis, 58  
 paleodicton, 13  
 Paleogen, i, iii, xvii, xviii, 2, 3, 5,  
     6, 7, 8, 9, 11, 35, 51, 58, 59,  
     100, 101, 106, 113, 115, 123,  
     128, 129  
 paleogeografi, 9, 99, 113, 116, 118,  
     119, 121, 133  
 paleontologi, 8, 9, 11, 12, 15, 18,  
     20, 22, 41, 46, 47  
 Palung Bogor, 39, 40, 113, 115, 124  
 Paparan Sunda, xviii, 6, 7, 101, 102  
 pasang-surut, 116, 132, 133  
 Pegunungan Serayu Utara, xviii, 2,  
     39, 40, 58, 100, 102, 113  
 pemekaran, 3, 5  
 pemilahan, 57  
 penampang stratigrafi terukur, 25,  
     31, 54  
 pengangkatan, 6, 56, 57, 58, 112,  
     115  
 pengujian, 9, 51, 61, 66, 75, 79, 80,  
     82, 92, 93, 106, 134  
 pengujian hipotesis, 51, 66  
 pengujian t hitung, 61  
 pengujian univariat satu arah, 61  
 pengukuran stratigrafi, 22, 35, 52,  
     53  
 penurunan dasar cekungan, 6, 57,  
     58, 59, 112, 133, 134  
 perlapisan, 19, 21, 23, 25, 30, 31,  
     35, 36, 54, 55, 61, 95, 104,  
     120, 125  
 perlapisan silang-siur, 21, 23, 120  
 perlapisan silang-siur planar, 23  
 pilahan, 55, 132  
 Pliosen Awal, 18, 20, 22, 46, 59,  
     118, 120, 121, 123, 124  
 polen, 43  
 populasi, 9, 51, 53, 60, 61, 62, 63,  
     64, 65, 66, 72, 73, 74, 75, 76,  
     77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 85,  
     86, 87, 88, 89, 90, 91, 93, 94,  
     102, 103, 123, 134  
 populasi yang homogen, 60, 134  
 pra-Paleogen, 7, 100, 101  
 proksimal, 59, 118, 124, 132  
 provenance, 53, 57, 102, 130  
 pusat pengendapan, xvii  
 radiolaria, 12  
 rapat massa, 39  
 rasio pasir/lempung, 8, 9, 25, 30,  
     31, 35, 53, 54, 61, 64, 95, 96,  
     106, 107, 108, 109, 110, 111,  
     112, 123  
 raw residual variable, 60  
 regresi, 9, 65, 66, 105, 108, 110,  
     112, 115, 120, 124  
 Rendahan Bobotsari, 39, 40, 115,  
     124  
 Resen, 3  
 respons, 7, 8, 9, 56, 61, 123, 127  
 retas, 119, 121, 124  
 Samudra India–Australia, 5  
 sand/shale ratio, 54

satuan lithostratigrafi, 24  
 sedimentasi, 6, 57, 59, 112, 133,  
     134  
 sedimen tipe flysch, 58  
 sedimentologi, 7, 8, 35, 51, 55, 56,  
     59, 60, 61, 141  
 SEM, 99  
 sesar, 6, 30, 38, 40  
 Sesar Muria-Cilacap, 6  
 sesar normal, 38  
 simpangan baku, 54, 67  
 sin-orogenik, 54  
 Sphaeroidinellopsis, 45  
 stratigrafi, xviii, 12, 22, 24, 25, 26,  
     27, 28, 30, 31, 34, 35, 38, 51,  
     52, 53, 54, 58, 59, 104, 107,  
     108, 109, 110, 111, 112, 125,  
     141  
 struktur konvolut, 18  
 struktur sedimen, 11, 17, 21, 22,  
     25, 30, 55, 116, 120, 133  
 studi paleomagnetik, 3  
 Sumatera, 7, 128  
 supermature, 57  
 T2 Hoteling, 9, 63, 66, 75, 94  
 taraf signifikansi, 60  
 tebal perlapisan, 55  
 tebal rata-rata lapisan, 8, 9, 30, 53,  
     55, 63, 64, 65, 82, 83, 84, 85,  
     86, 87, 88, 89, 90, 91, 95, 96,  
     97, 104, 105, 116, 120  
 tekstur, 55, 58, 132  
 tektonik, xviii, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 12,  
     48, 51, 54, 55, 56, 57, 58, 59,  
     61, 63, 64, 66, 95, 96, 104,  
     105, 106, 112, 116, 120, 123,  
     124, 127, 129, 131, 141  
 tektonik lempeng, 56  
 transgresi, 66, 108, 110, 112, 118,  
     124  
 uji, 9, 56, 60, 61, 66, 75, 76, 77, 78,  
     79, 80, 81, 82, 86, 89, 92  
 uji beda independen, 9  
 Uji beda Mutivariat, 60  
 uji homogenitas varian, 60  
 Uji Homogenitas Varians–Kovari-  
     ans, 72  
 uji Liliefors, 60  
 uji normalitas, 60  
 Uji persyaratan analisis, 60  
 Uji Persyaratan Analisis, 60  
 ultrabasa, 38  
 variabel, xviii, 7, 8, 9, 25, 30, 31, 35,  
     36, 41, 47, 48, 51, 52, 53, 54,  
     60, 61, 64, 95, 103, 104, 123,  
     125, 133, 134  
 variabel analisis petrografi, 52, 53  
 variabel fasies sedimen, 8  
 variabel karakteristik sedimen-  
     tologi, 7, 8, 60  
 variabel-variabel dari hasil pengun-  
     guran stratigrafi, 52  
 verifikasi, xv, 54, 61, 66, 133, 134  
 vulkanisme, 2, 8, 9, 48, 53, 55, 56,  
     61, 67, 77, 100, 103, 116,  
     118, 124, 127, 128  
 Watuadeg, 100  
 Yogyakarta, 128, 129, 141  
 zirkon, 101, 102  
 zona tunjaman, 100

## BIOGRAFI PENULIS



Syaiful Bachri lahir dari pasangan Masduki Anwar dan Hasanah di Bantul pada 24 April 1957. Pendidikan SD sampai SMA diselesaikan di sekolah Muhammadiyah, Bantul, Yogyakarta. Menamatkan pendidikan sarjana di Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta (1983). Setelah itu bergabung dengan Pusat Survei Geologi (dulu Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi), Badan Geologi,

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, sampai sekarang.

Pada tahun 1991 penulis memperoleh gelar Master of Science dari Jurusan *Geological Survey*, di *International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC)*, di Enschede, Belanda, dengan predikat *with distinction*. Selanjutnya, pada tahun 2011 penulis memperoleh gelar doktor dalam bidang geologi dari Universitas Padjadjaran, Bandung, dengan predikat *cumlaude*. Karya-karya ilmiahnya sebagian besar bertemakan tektonik dan struktur geologi, serta sedimentologi–stratigrafi. Penulis saat ini memiliki jabatan fungsional Peneliti pada jenjang Peneliti Utama.

# Pengaruh Kegiatan TEKTONIK & VULKANISME

Terhadap Sedimentasi Endapan Paleogen-Neogen,  
di Cekungan Serayu, Jawa

Sebaran batuan gunung api dan sedimen asal gunung api sangat luas, baik di Indonesia bagian barat maupun Indonesia bagian timur. Akan tetapi, terdapat permasalahan dalam batuan gunung api dan sedimen asal gunung api, salah satunya adalah jarang dijumpainya fosil indeks penunjuk umur dan lingkungan pengendapan. Hal ini berakibat pada simpangsiurnya tata nama dan korelasi antar satuan batuan. Dalam satu wilayah atau satu cekungan sedimen yang sama, tidak jarang dijumpai penamaan satuan batuan yang berbeda-beda. Bahkan dalam cekungan sedimen yang berbeda sering terjadi kesamaan penamaan satuan batuan atau formasi.

Berdasarkan permasalahan tersebut, buku ini hadir untuk memperkenalkan sebuah metode penamaan satuan batuan sehingga dapat dikenali atau diklasifikasikan sebagai satuan yang sama. Selain itu, pembahasan buku ini juga berdasarkan hasil penelitian di Cekungan Serayu—merupakan salah satu cekungan sedimen yang diperkenalkan oleh Badan Geologi, Kementerian ESDM—yang ditulis berdasarkan hasil disertasi dan hasil-hasil penelitian yang diterbitkan selama penulis menjadi peneliti di Pusat Survei Geologi sehingga kesimpulan-kesimpulan yang diambil dalam buku ini tidak diragukan lagi.



**Distributor:**  
Yayasan Obor Indonesia  
Jln. Plaju No.10 Jakarta 10230  
Telp. (021) 319 26978, 3920114  
Faks. (021) 319 24488  
E-mail: [yayaan\\_obor@cbn.net.id](mailto:yayaan_obor@cbn.net.id)

ISBN 978-979-799-869-1



LIPI Press