

## **BAB IV**

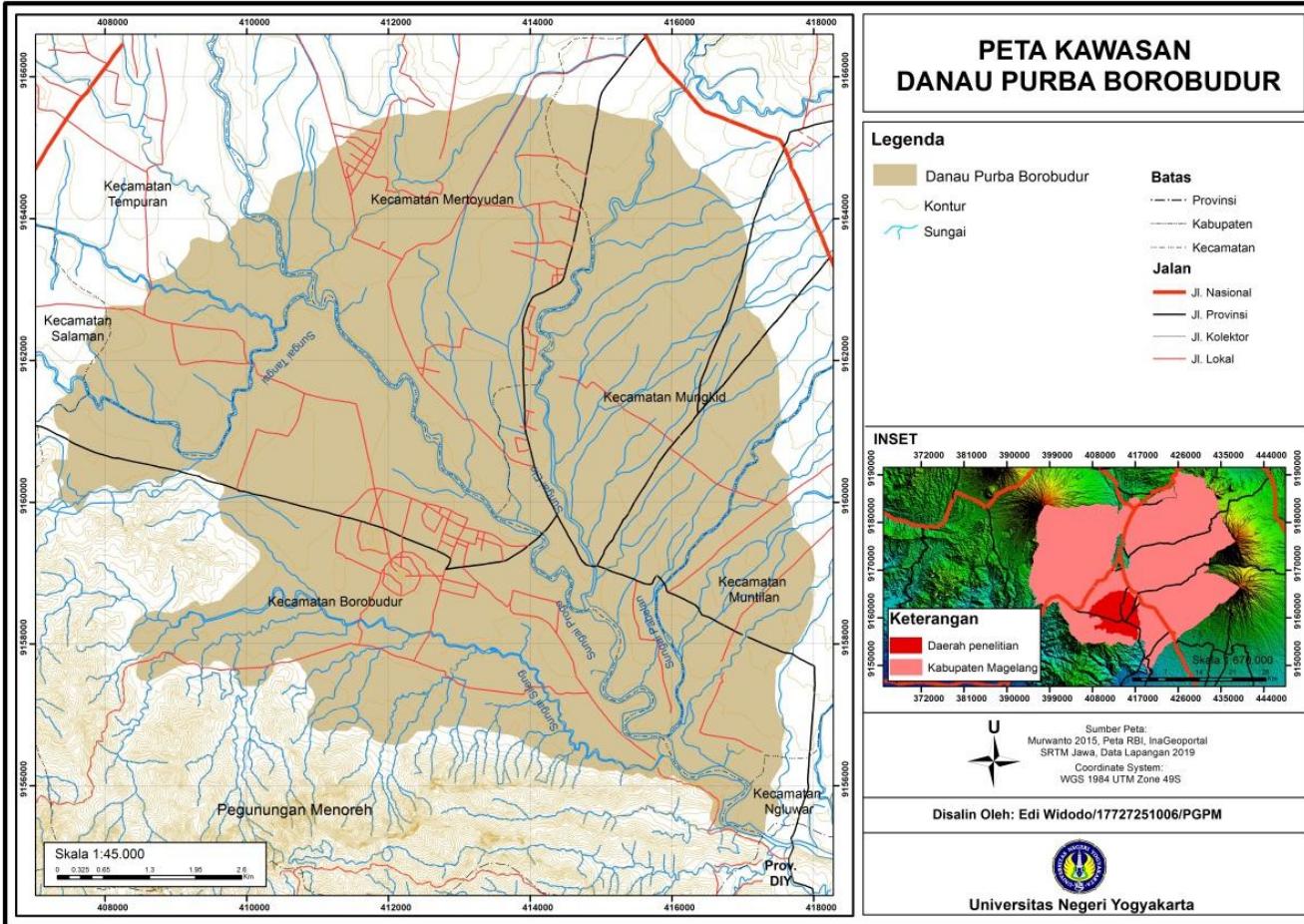
### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

#### **A. Deskripsi Hasil Penelitian**

##### **1. Kondisi Geografis Daerah Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di kawasan sekitar Candi Borobudur yang terletak pada 407205 Meter Timur (MT) hingga 418029 Meter Timur (MT) serta 9155316 Meter Utara (MU) hingga 9165798 Meter Utara (MU) pada koordinat *Universal Transverse Mercator* (UTM) Zona 49 S. Daerah penelitian secara administratif terletak di pertemuan antara wilayah Kecamatan Borobudur, Kecamatan Mungkid, Kecamatan Mertoyudan, Kecamatan Muntilan, Kecamatan Ngluwar, Kecamatan Salaman dan Kecamatan Tempuran. Luas daerah penelitian keseluruhan adalah 7.389,658 ha (Gambar 4).

Kawasan Danau Purba Borobudur sebelah selatan berbatasan dengan pegunungan Menoreh. Sebelah timur yaitu Kecamatan Muntilan. Kawasan Danau Purba Borobudur sebelah barat merupakan Kecamatan Salaman. Kawasan Danau Purba Borobudur sebelah utara yaitu Kecamatan Mertoyudan. Kecamatan Borobudur secara keseluruhan berada pada kawasan Danau Purba Borobudur. Kondisi aksesibilitas kawasan sekitar Candi Borobudur sangat mudah. Tipe jalan yang ada di kawasan sekitar Candi Borobudur meliputi jalan Lokal, jalan Kolektor, jalan Provinsi dan jalan Nasional.

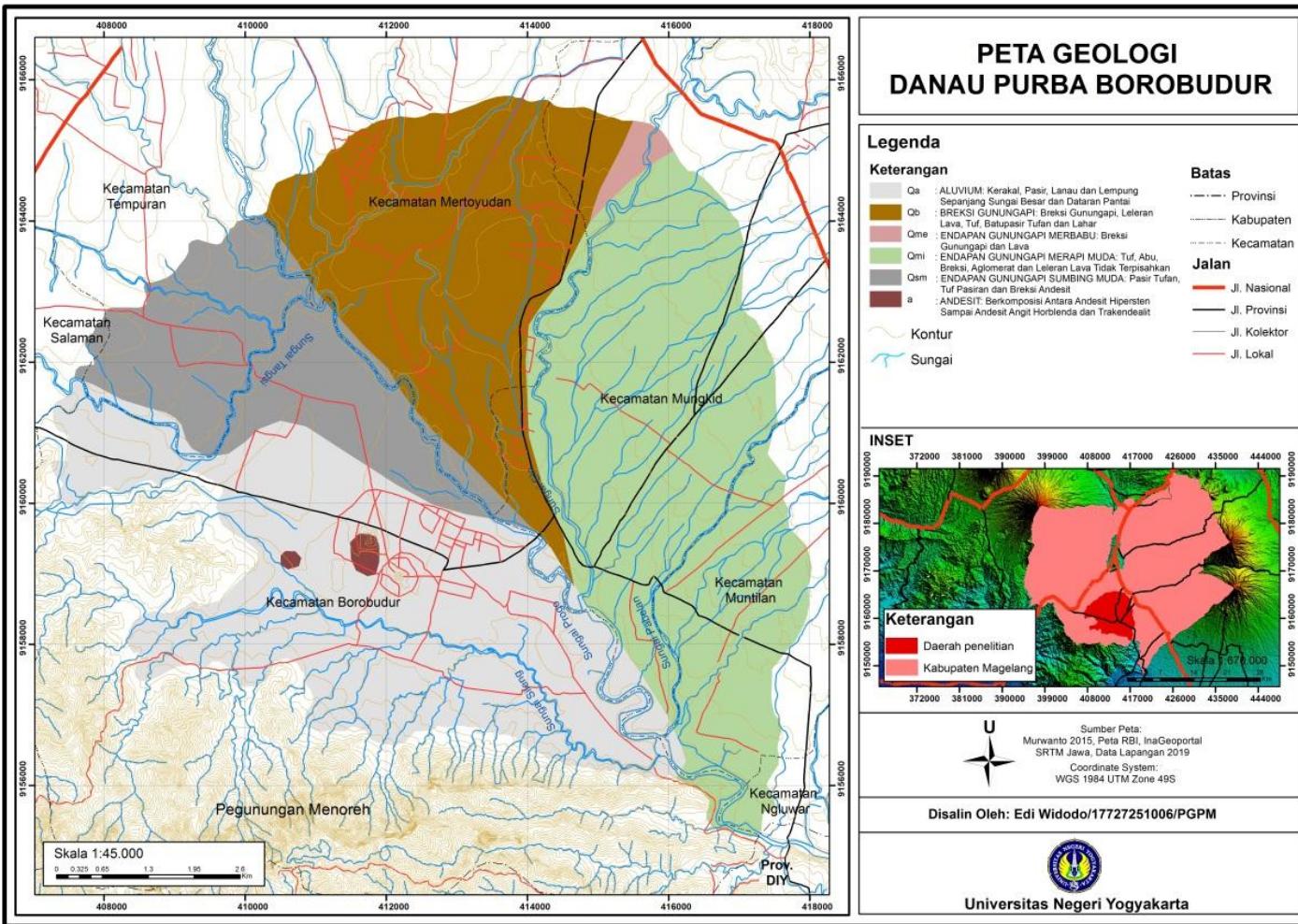


Gambar 4. Peta kawasan Danau Purba Borobudur (Sumber: Murwanto, 2015; Peta RBI dan Inageoportal, 2019).

## **2. Kondisi Geologi**

Peta Geologi Kawasan Danau Purba Borobudur (Gambar 5), secara umum tersusun oleh beberapa penampang geologi yaitu: Aluvium: kerakal, pasir, lanau dan lempung sepanjang sungai. Rahardjo, Sukandarrumidi, & Rosidi (1995) bahwa: Breksi Gunungapi: breksi Gunungapi, leleran lava, batu pasir tufan dan lahar. Endapan Gunungapi Merbabu: Breksi Gunungapi dan lava. Endapan Gunungapi Merapi Muda: tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava. Endapan Gunungapi Sumbing Muda: pasir tufan, tuf pasiran dan breksi andesit. Andesit: berkomposisi antara andesit *ipersten* sampai andesit *angit horblenda* dan *trakendealit*.

Endapan yang menyusun kawasan Danau Purba Borobudur memiliki luasan yang berbeda. Endapan Alluvium memiliki luas 2.232,195 ha. Endapan breksi memiliki luas 1.621,801 ha. Endapan Gunungapi Merbabu memiliki luas 56,228 ha. Endapan Gunungapi Merapi Muda memiliki luas 2.383,207 ha. Endapan Gunungapi Sumbing Muda memiliki luas 1.069,973 ha. Andesit memiliki luas 26,251 ha. Endapan Gunungapi Merapi Muda paling luas, hal ini menunjukkan pengaruh secara signifikan aktivitas letusan Merapi terhadap kawasan Danau Purba Borobudur.

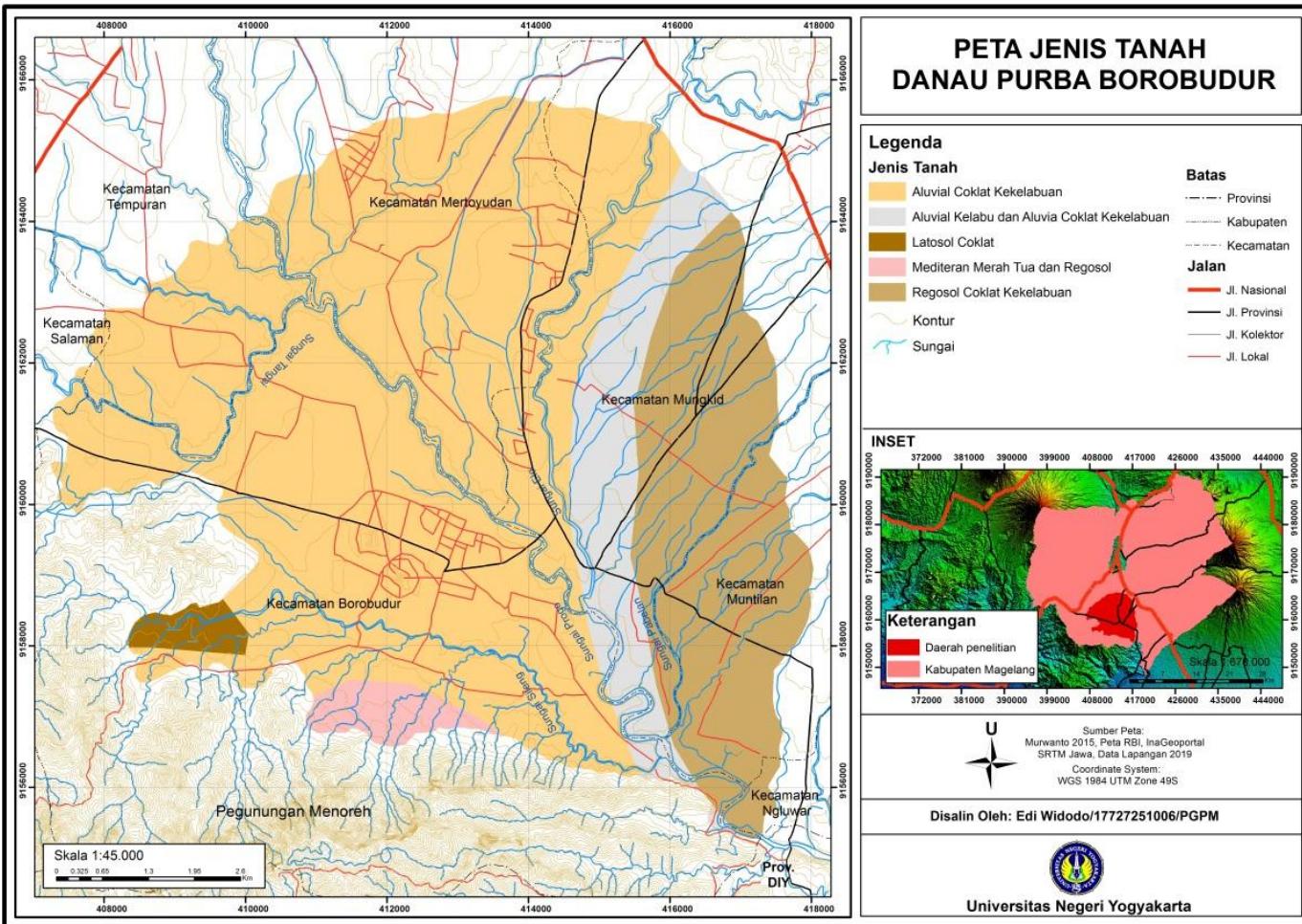


Gambar 5. Kondisi geologi kawasan Danau Purba Borobudur (Sumber: Rahardjo, Sukandarrumidi, & Rosidi (1995); Murwanto, 2015; Peta RBI dan Inageoportal, 2019)

#### a. Jenis Tanah

Jenis tanah kawasan Danau Purba Borobudur terdiri atas tanah aluvial cokelat kekelabuan, aluvial kelabu dan aluvial cokelat kekelabuan, latosol cokelat, mediteran merah tua dan regosol, serta regosol cokelat kekelabuan. Permeabilitas masing-masing jenis tanah cenderung lambat dan memiliki drainase jelek (Bappeda Kabupaten Magelang, 2019). Permeabilitas yang cenderung lambat dan drainase jelek dapat menyebabkan genangan air apabila curah hujan dengan intensitas tinggi.

Jenis tanah alluvial cokelat kekelabuan memiliki luas 4.987,400 ha. Jenis tanah alluvial kelabu dan aluvial cokelat kekelabuan memiliki luas 704,238 ha. Jenis tanah latosol cokelat memiliki luas 91,337 ha. Jenis tanah mediteran merah tua dan regosol memiliki luas 149,277 ha. Jenis tanah regosol cokelat kekelabuan memiliki luas 1.457,403 ha. Jenis tanah alluvial cokelat kekelabuan paling luas, dan memiliki drainase jelek serta permeabilitas yang lambat maka timbulnya genangan saat hujan.



Gambar 6. Peta jenis tanah kawasan Danau Purba Borobudur (Sumber: Murwanto, 2015; Peta RBI, Inageoportal, 2019, Bappeda Kabupaten Magelang 2019, & Data Lapangan 2019)

### b. Jenis Batuan

Jenis batuan yang ditemukan di kawasan Danau Purba Borobudur meliputi breksi lahar dan endapan lempung hitam. Breksi lahar merupakan material Gunungapi yang terangkut melalui aliran sungai kemudian terendapkan. Ciri-ciri breksi lahar yaitu memiliki tekstur halus dan membulat. Batuan breksi lahar memiliki diametr beragam, mulai 25 cm sampai lebih dari satu meter. Endapan lahar memiliki ciri lain yaitu, sortasi susunan batuan jelas. Batuan yang memiliki diameter lebih besar lokasinya di bawah batuan yang berdiameter lebih kecil. Breksi lahar yang dijumpai di lapangan tersusun di bawah permukaan tanah dan endapan tuf pasiran.



Gambar 7. Endapan breksi lahar, lokasi Sungai Progo 412698 MT 9160741  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi 2019)

Lempung hitam yang tersingkap di tebing sungai berada di bawah endapan batuan breksi lahar. Endapan lempung hitam mudah dikenali dari

segi warna dan tekstur. Lempung hitam secara kasat mata berwarna hitam sedikit kecokelatan, dan bertekstur halus. Lempung hitam yang tersingkap rata-rata memiliki ketebalan 2-3 meter.



Gambar 8. Endapan lempung hitam, lokasi Sungai Progo 414010 MT 9159218 MU (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2019)

Candi Borobudur di sebelah selatan ditemukan batuan gamping, lava, batuan andesit dan breksi. Jenis batuan tersebut termasuk dalam formasi Menoreh. Pembentukan formasi Menoreh dipengaruhi oleh proses tektonisme berupa pengangkatan, selain itu juga terdapat proses intrusi dengan bukti terdapatnya batuan andesit dan breksi. Posisi antar batuan tersebut saling berdampingan dan banyak di temukan pada pegunungan Menoreh.



Gambar 9. Batuan Intrusi dan Batuan Gamping, lokasi Pegunungan Menoreh 403040 MT 9158616 MU (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2019)

### c. Karakteristik Stratigrafi

Stratigrafi kawasan Borobudur dipengaruhi oleh jenis batuan yang terendapkan. Singkapan yang ada di Sungai Progo, Sungai Elo dan Sungai Pabelan jenis batuan yang terendapkan meliputi tuf pasiran, breksi lahar dan lempung hitam. Posisi tuf pasiran berada di paling bawah (di bawah permukaan tanah), kemudian breksi lahar, dan lempung hitam.



Lokasi 412681 MT 9160848 MU  
Gambar 10. Stratigrafi Endapan, lokasi Sungai Progo (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2019)



Lokasi 412698 MT 9160741 MU  
Gambar 11. Jenis Endapan tanah, tuff pasiran, lokasi Sungai Progo (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2019)



Lokasi 412590 MT 9160856 MU  
Gambar 12. Jenis Endapan lahar dan breksi lahar, lokasi Sungai Progo (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2019)



Lokasi 412460 MT 9160958 MU  
Gambar 13. Jenis Endapan lempung hitam, lokasi Sungai Progo (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2019)

### 3. Kondisi Geomorfologi

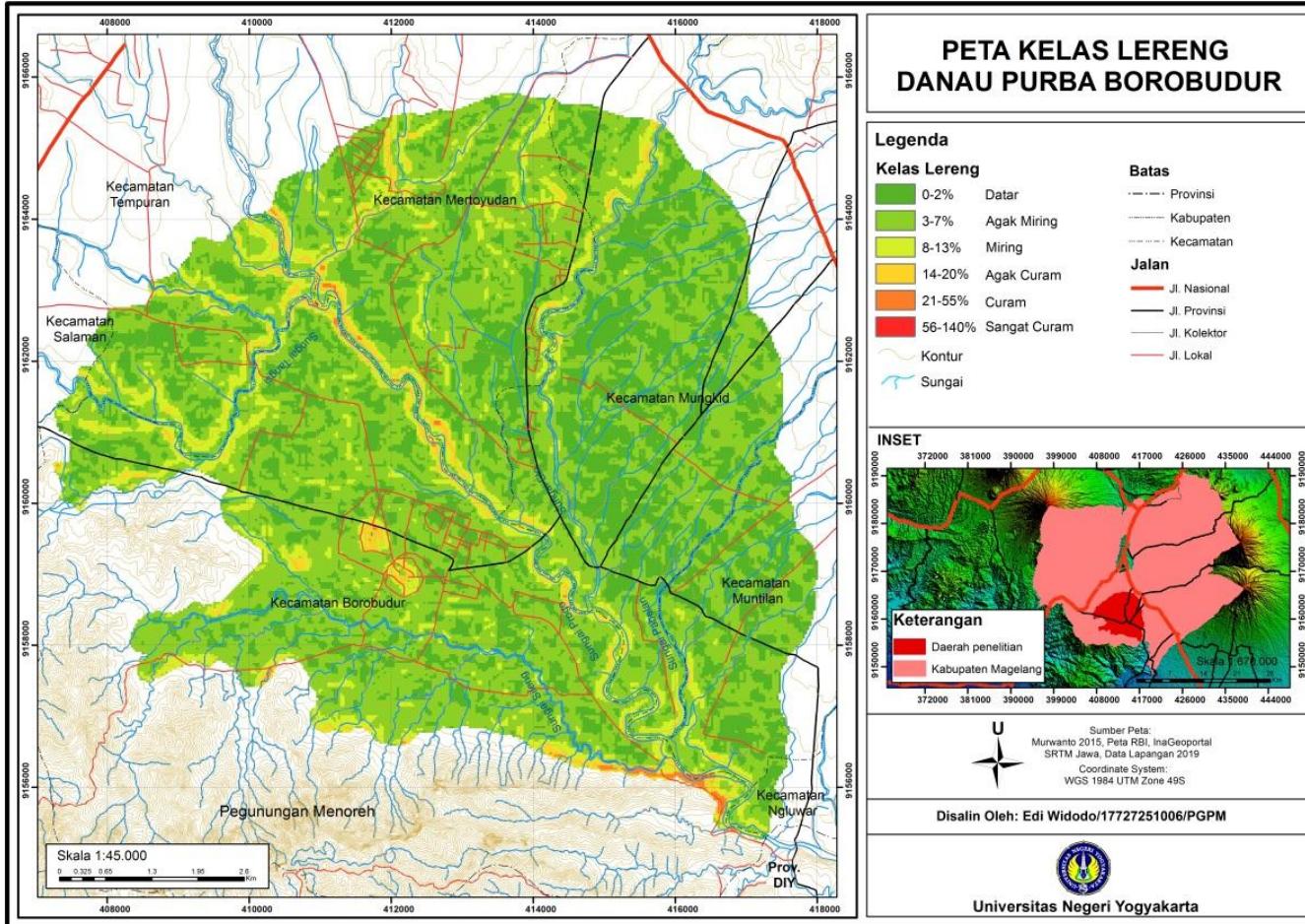
#### a. Kemiringan Lereng

Hasil pengukuran di lapangan, diperoleh kemiringan lereng rata-rata 0-7%. Kelas lereng rata-rata pada kawasan Danau Purba Borobudur yaitu datar menuju ke agak miring. Kondisi lereng yang cenderung datar, menyebabkan aliran air lambat dan berpotensi timbul genangan-genangan air.

Tabel 3. Data sampel kemiringan lereng

No	Lokasi				Kemiringan Lereng
	Koordinat	Dusun	Desa	Kecamatan	
1	411786 MT 9158720 MU	Bumisegoro	Borobudur	Borobudur	8%
2	412251 MT 9158509 MU	Kujon	Borobudur	Borobudur	4%
3	411011 MT 9160074 MU	Kanggan	Wringinputih	Borobudur	5%
4	411499 MT 9159013 MU	Sabranggrowo	Borobudur	Borobudur	2%
5	413211 MT 9161931 MU	Deyangan	Deyangan	Mertoyudan	4%
6	413173 MT 9162441 MU	Serak	Deyangan	Mertoyudan	5%
7	413543 MT 9162789 MU	Kotho	Deyangan	Mertoyudan	2%
8	419816 MT 9152039 MU	Gondangan kidul	Pakunden	Ngluwar	6%
9	405460 MT 9162491 MU	Soco	Salaman	Salaman	7%
10	414434 MT 9156926 MU	Paremono	Paremono	Mungkid	4%

Sumber: Data lapangan 2019



Gambar 14. Kondisi kemiringan lereng kawasan Danau Purba Borobudur (Sumber: Murwanto, 2015; Peta RBI, Inageoportal, 2019, & Data Lapangan 2019)

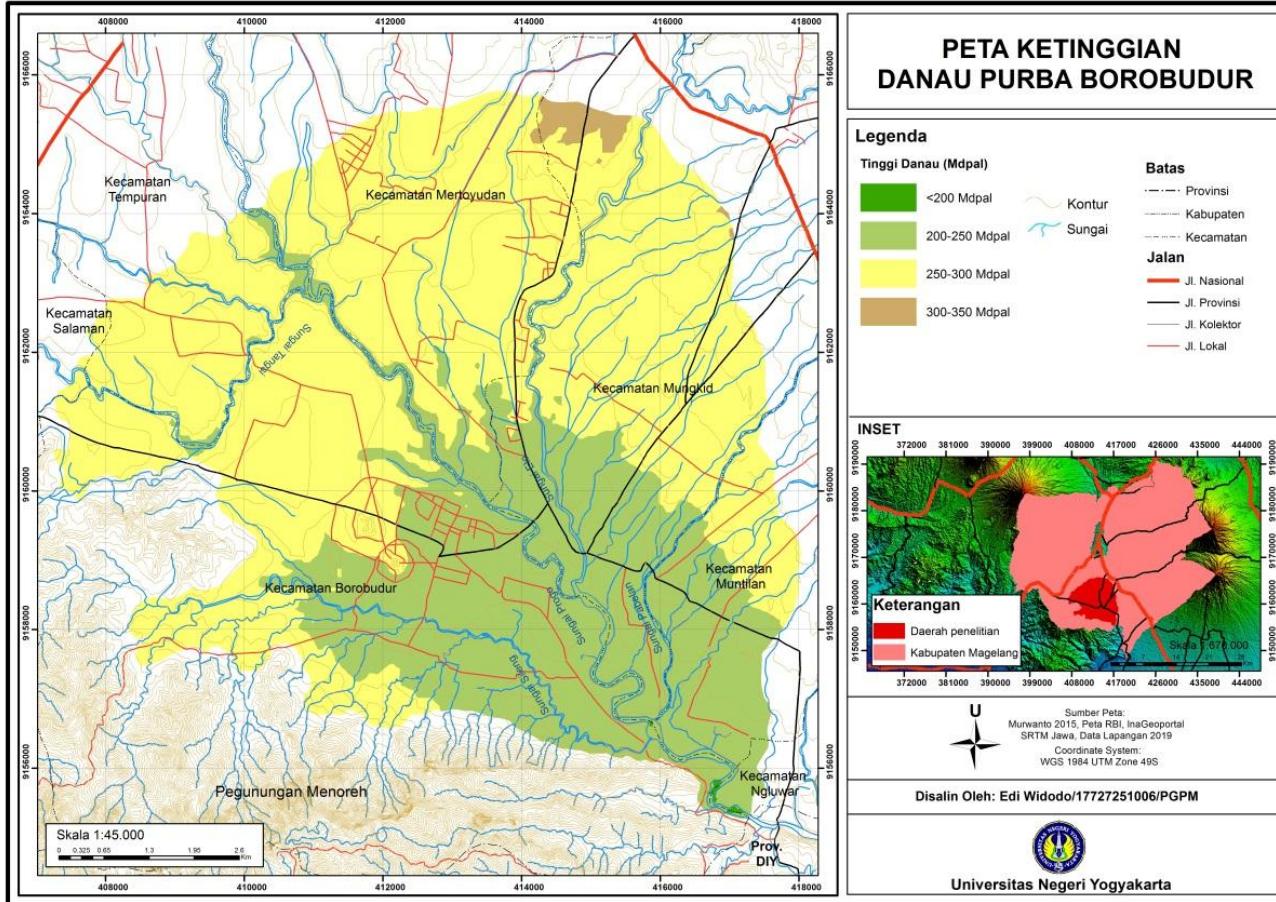
### b. Ketinggian Tempat

Ketinggian tempat kawasan Danau Purba Borobudur rata-rata di bawah 400 Mdpal. Ketinggian tersebut menunjukkan bahwa kawasan ini lebih rendah dibandingkan kawasan di sekitar. Zona dengan ketinggian kurang dari 200 Mdpal berada pada kawasan pertemuan antar sungai. Tempat yang rendah berpotensi aliran air terkonsentrasi dan menuju ke kawasan ini.

Tabel 4. Data sampel ketinggian tempat

No	Lokasi				Ketinggian tempat
	Koordinat	Dusun	Desa	Kecamatan	
1	411786 MT 9158720 MU	Bumisegoro	Borobudur	Borobudur	207 Mdpal
2	412251 MT 9158509 MU	Kujon	Borobudur	Borobudur	205 Mdpal
3	411011 MT 9160074 MU	Kangan	Wringinputih	Borobudur	205 Mdpal
4	411499 MT 9159013 MU	Sabranggrowo	Borobudur	Borobudur	200 Mdpal
5	413211 MT 9161931 MU	Deyangan	Deyangan	Mertoyudan	234 Mdpal
6	413173 MT 9162441 MU	Serak	Deyangan	Mertoyudan	237 Mdpal
7	413543 MT 9162789 MU	Kotho	Deyangan	Mertoyudan	236 Mdpal
8	419816 MT 9152039 MU	Gondangan kidul	Pakunden	Ngluwar	236 Mdpal
9	405460 MT 9162491 MU	Soco	Salaman	Salaman	284 Mdpal
10	414434 MT 9156926 MU	Paremono	Paremono	Mungkid	283 Mdpal

Sumber: Data lapangan 2019



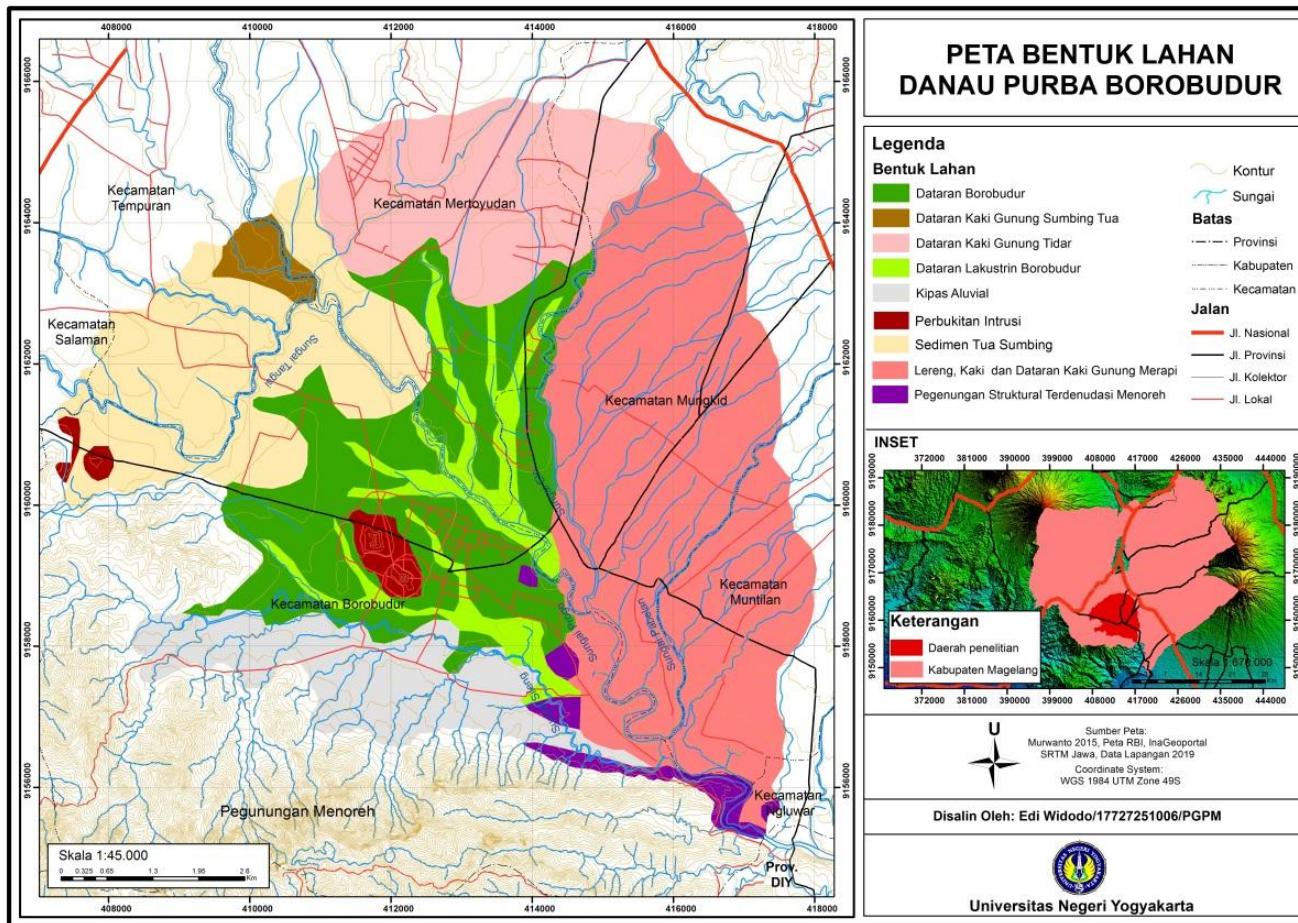
Gambar 15. Kondisi ketinggian tempat kawasan Danau Purba Borobudur (Sumber: Murwanto, 2015; Peta RBI, Inageoportal, 2019, & Data Lapangan 2019)

### c. Unit Relief

Hasil pengukuran di lapangan, kawasan sekitar Candi Borobudur memiliki ketinggian relief rata-rata kurang dari 5 meter. Ketinggian relief yang kurang dari 5 meter dihubungkan dengan tingkat kemiringan lereng 0-2% maka menjadi unit relief topografi datar. Ketinggian relief yang rata-rata kurang dari 5 meter dihubungkan dengan tingkat kemiringan lereng 3-7% maka memiliki unit relief topografi berombak. Kawasan Danau Purba Borobudur memiliki unit relief topografi datar menuju berombak.

### d. Bentuk Lahan

Kawasan Danau Borobudur memiliki beragam kondisi bentuk lahan. Sedikitnya terdapat sembilan jenis bentuk lahan di kawasan ini. Bagian selatan terdapat kipas aluvial hasil rombakan dan pegunungan struktural terdenudasi Menoreh. Sebelah barat hingga barat laut terdapat perbukitan intrusi dan sedimen tua serta dataran kaki Gunungapi Sumbing. Sebelah utara terdapat dataran kaki Gunung Tidar. Sebelah timur terdapat lereng, kaki dan dataran kaki Gunungapi Merbabu. Zona tengah terdapat dataran Borobudur, dataran lakustrin Borobudur dan termasuk bukit intrusi yang menjadi dasar Candi Borobudur.



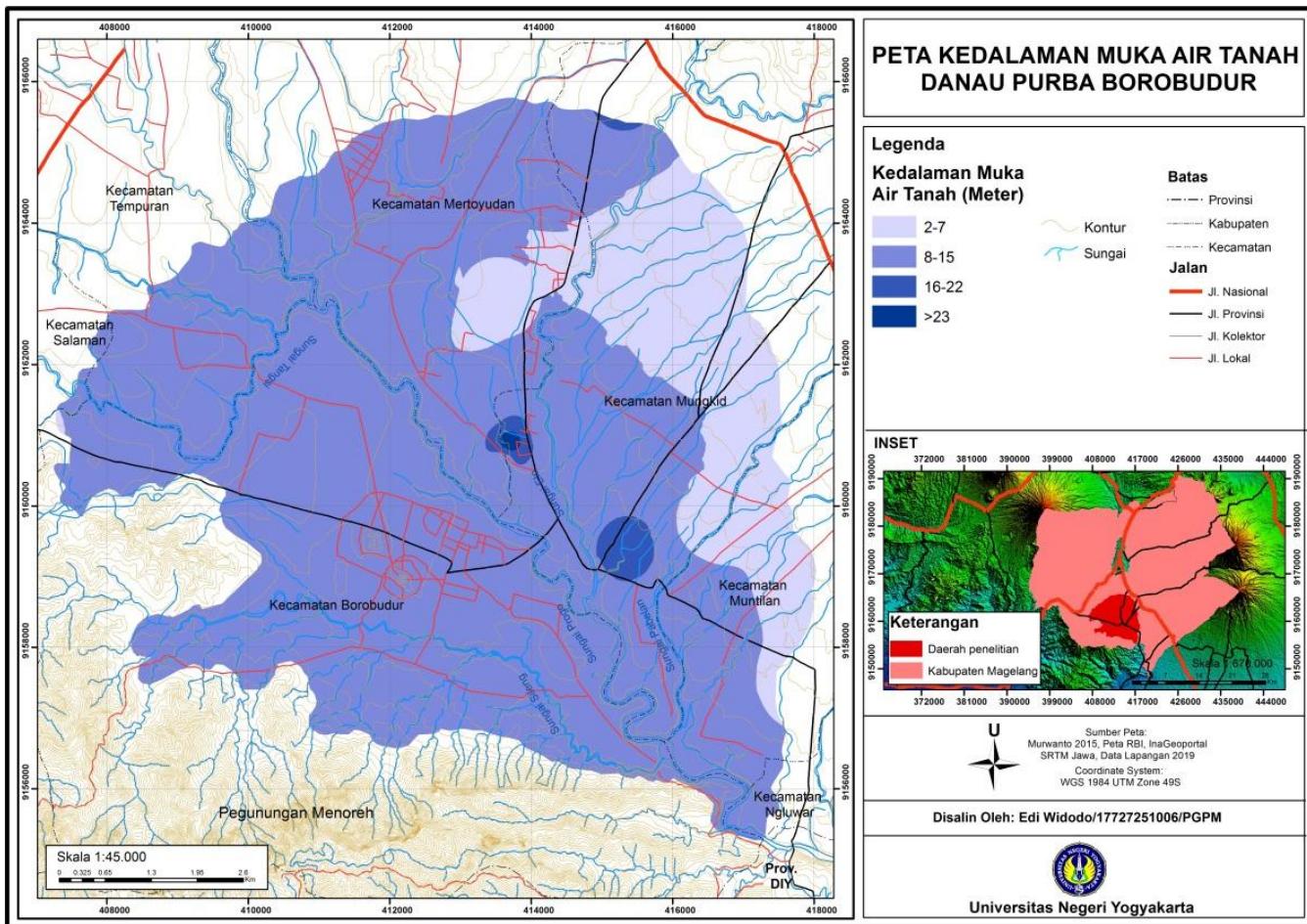
Gambar 16. Kondisi bentuk lahan kawasan Danau Purba Borobudur (Sumber: Murwanto, 2015; Peta RBI, Imageoportal, 2019, & Data Lapangan 2019)

#### **4. Kondisi Hidrologi**

##### a. Kedalaman Muka Air Tanah

Kedalaman muka air tanah hasil pengukuran di lapangan memiliki rata-rata kedalaman 8-15 meter. Kedalaman muka air tanah dipengaruhi oleh kondisi geologi di bawahnya. Ilustrasi Gambar 17 menunjukkan pola persebaran zona kedalaman muka air tanah antara 8-15 meter. Ilustrasi Gambar 17 menunjukkan bahwa kedalaman muka air tanah pada sungai atau danau cenderung sama. Data hasil pengukuran dan distribusi sampel secara keseluruhan terdapat pada lampiran nomor 4.

Kedalaman muka air tanah di kawasan Danau Purba Borobudur memiliki luasan yang berbeda. Kedalaman muka air tanah 2-7 meter memiliki luas 1.282,641 ha. Kedalaman muka air tanah 8-15 meter memiliki luas 6.009,294 ha. Kedalaman muka air tanah 16-22 meter memiliki luas 91,501 ha. Kedalaman muka air tanah >23 meter memiliki luas 6,218 ha. Kedalaman muka air tanah 2-7 meter berada pada endapan Gunungapi Merapi Muda.



Gambar 17. Kondisi kedalaman muka air tanah kawasan Danau Purba Borobudur (Sumber: Murwanto, 2015; Peta RBI, Inageoportal, 2019, & Data Lapangan 2019)

## b. Mata Air

Tabel 5. Kondisi mata air

No	Lokasi				Debit mata air
	Koordinat	Dusun	Desa	Kecamatan	
1	412522 MT 9160850 MU	Sigug	Bumiharjo	Borobudur	0,08 liter/detik
2	412465 MT 9160921 MU	Sigug	Bumiharjo	Borobudur	0,08 liter/detik
3	412527 MT 9160839 MU	Sigug	Bumiharjo	Borobudur	0,01 liter/detik
4	411499 MT 9159013 MU	Sabrangrowo	Borobudur	Borobudur	Tidak ada aliran permukaan
5	414434 MT 9156926 MU	Kaliduren (mata air asin)	Candirejo	Borobudur	Tidak ada aliran permukaan

Sumber: Data lapangan 2019

Mata air yang banyak ditemui pada daerah penelitian, umumnya berada di tebing-tebing sungai. Mata air muncul di tebing sungai karena lapisan penyimpan air tanahnya terpotong oleh sungai. Secara keseluruhan mata air yang muncul berada di atas endapan lempung hitam. Mata air yang ditemukan di lapangan memiliki variasi debit dari 0,01 liter/detik (36 liter per jam) sampai 0,08 liter/detik (288 liter/jam) dan terdapat beberapa mata air yang tidak dapat diukur debit alirannya karena tidak ada aliran permukaan. Mata air yang ditemukan di lapangan di manfaatkan penduduk untuk keperluan domestik (mandi dan mencuci).



Gambar 18. Kondisi mata air Lokasi 412465 MT 9160921 MU (Sumber: Dokumentasi pribadi, 2019)

c. Sungai

Sungai-sungai yang saat ini alirannya menuju ke kawasan Danau Purba Borobudur yaitu Sungai Progo, sungai Sileng, sungai Tangsi, sungai Elo dan sungai Pabelan. Sungai Progo memiliki tubuh sungai paling lebar dengan bagian hulunya di kawasan Gunung Sumbing dan Gunung Sindoro. Sedangkan Sungai Sileng berhulu di lereng Pegunungan Menoreh. Sungai Tangsi berhulu di lereng Gunung Sumbing dan Pegunungan Menoreh. Sungai Elo berhulu di Gunung Merbabu. Sungai Pabelan memiliki Hulu di Gunung Merapi.

Tabel 6. Kondisi sungai

No	Lokasi				Keterangan Sungai
	Koordinat	Dusun	Desa	Kecamatan	
1	414752 MT 9158433 MU	Tingal wetan	Wanurejo	Borobudur	Pertemuan Elo-Progo
2	415796 MT 9156451 MU	Pucungan	Candirejo	Borobudur	Pertemuan Pabelan-Progo
3	411786 MT 9158720 MU	Gopalan	Borobudur	Borobudur	Sungai Sileng
4	412705 MT 9160744 MU	Sigug	Bumiharjo	Borobudur	Sungai Progo (utara jembatan sigug)
5	414307 MT 9160951 MU	Mbitan	Sawitan	Mungkid	Sungai Elo

Sumber: Data lapangan 2019

Pertemuan sungai Progo dengan sungai Elo (Gambar 19) dan sungai Progo dengan sungai Pabelan (Gambar 20) memiliki kemiripan material berupa batuan beku vulkanik. Sungai Pabelan memiliki material batuan beku vulkanik yang lebih baru dibandingkan sungai Elo, karena Gunung Merapi masih aktif sedangkan Gunung Merbabu yang sudah tidak aktif. Erupsi Gunung Merapi pada tahun 2010 menyebabkan terjadi banjir lahar hujan di sungai Pabelan, sehingga material lahar banyak ditemukan di pertemuan sungai Progo dengan sungai Pabelan.



Gambar 19. Pertemuan sungai Progo dan sungai Elo Lokasi 414752 MT 9158433 MU (Sumber: Dokumentasi pribadi, 2019)



Gambar 20. Pertemuan sungai Progo dan sungai Pabelan Lokasi 415796 MT 9156451 MU (Sumber: Dokumentasi pribadi, 2019)

*Pothole* ditemukan di sungai Progo. *Pothole* terbentuk karena proses aliran air dengan arus berputar. Arus yang memutar mampu mengerosi batuan dasar sungai dalam bentuk membulat. *Pothole* dengan diameter rata-rata 50 cm dengan kedalaman rata-rata 40 cm. *Pothole* dapat diamati secara langsung ketika debit air sungai Progo surut yaitu pada musim kemarau. *Pothole* tidak nampak pada musim hujan, karena debit air naik.



Gambar 21. *Potholes*, lokasi Sungai Progo Lokasi 412640 MT 9160868 MU  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi 2019)

d. Salinitas (kadar garam)

Tabel 7. Salinitas Air Tanah

No	Lokasi	Koordinat	Dusun	Desa	Kecamatan	Kedalaman Muka Air Tanah (meter)	Tingkat Salinitas (permil)
1	414917 MT 9160646 MU	Ngroto		Deyangan	Mertoyudan	15	0,13
2	415364 MT 9159456 MU	Mendut Satu		Mendut	Mungkid	20	0,63
3	413693 MT 9160898 MU	Kantor Dinas Lingkungan Hidup		Deyangan	Mertoyudan	30	0,63
4	414434 MT 9156926 MU	Kaliduren		Candirejo	Borobudur	Mata air	6,94

Sumber: Data lapangan 2019

Pengambilan empat sampel didasarkan pada perbedaan ketinggian muka air tanah, dan tingkat salinitas mata air. Ketinggian muka air tanah 15 meter diperoleh tingkat salinitas 0,13 (air tawar). Ketinggian muka air tanah 20 dan 30 meter diperoleh data tingkat salinitas sebesar 0,63 (air payau). Mata air asin meskipun bernama asin, setelah dilakukan pengukuran diperoleh tingkat salinitas 6,94 maka lingkungan airnya payau.

## 5. Kondisi Sosial

Penelitian ini tidak mengkaji kondisi sosial secara detail, melainkan hanya beberapa variabel kondisi sosial yaitu luas wilayah, jumlah penduduk, kepadatan penduduk, penggunaan lahan, luas penggunaan lahan, jenis mata pencaharian, dan tingkat pendidikan.

Tabel 8. Luas wilayah, jumlah penduduk dan kepadatan penduduk di kawasan Danau Purba Borobudur tahun 2017

No	Kecamatan	Luas Wilayah	Jumlah Penduduk	Kepadatan Penduduk
		Km2	Tahun 2017	Tahun 2017
1	Salaman	68.87	70497	1023.62422
2	Borobudur	54.55	59039	1082.291476
3	Ngluwar	22.44	31371	1397.994652
4	Muntilan	28.61	80161	2801.852499
5	Mungkid	37.4	75076	2007.379679
6	Mertoyudan	45.35	115670	2550.606395
7	Tempuran	49.04	49834	1016.190865

Sumber: BPS 2018 & Analisis 2019.

Kecamatan Salaman (terluas) terletak di sebelah barat. Kecamatan Mertoyudan (jumlah penduduk tertinggi) di sebalah utara. Kecamatan Muntilan (kapadatan penduduk tertinggi) di sebelah tenggara dari pusat Danau Purba Borobudur. Kecamatan Muntilan menjadi terpadat karena

beberapa faktor diantaranya keberadaan pusat-pusat pendidikan, pusat ekonomi dan pada masa lalu menjadi pusat pemerintahan.

Tabel 9. Penggunaan lahan di kawasan Danau Purba Borobudur

No	Penggunaan lahan	Luas Penggunaan Lahan (Km2)
1	Permukiman	18.644108
2	Kebun	16.719623
3	Tegalan	8.026097
4	Sawah tадah hujan	5.152185
5	Sawah irigasi	22.439336
6	Rumput	0.710106
7	Semak belukar	0.045438
8	Air tawar	2.156602

Sumber: Citra Quickbird 2015 dan Analisis 2019.

Pertumbuhan penduduk secara signifikan mempengaruhi perubahan penggunaan lahan. Tabel 9. penggunaan lahan kawasan Danau Purba Borobudur menunjukkan bahwa didominasi oleh permukiman dengan luas total 18.644108 km<sup>2</sup>. Pertumbuhan penduduk membutuhkan tempat tinggal, maka terus tumbuh pusat-pusat permukiman baru.

## 6. Data Bencana Alam

### a. Jenis fasies dan bahaya fasies

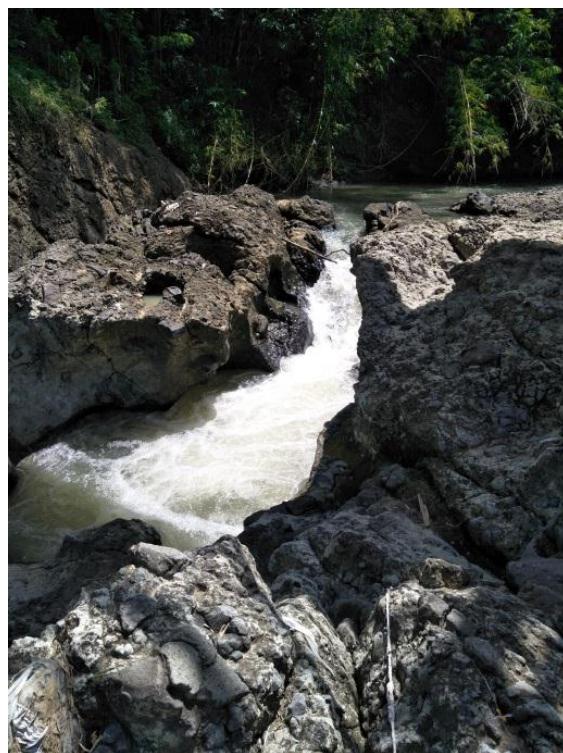
Fasies adalah tubuh batuan dengan karakteristik tertentu. Penentuan fasies berdasarkan singkapan stratigrafi batuan di lapangan. Fasies menunjukkan bahaya yang disebabkan oleh aktivitas Gunungapi. Hasil observasi stratigrafi disusun atas endapan batuan tuf pasiran, breksi lahar dan lempung hitam. Jarak daerah penelitian terhadap kepundan Gunung Merapi tergolong jauh yaitu memiliki radius rata-rata 20-30 kilometer.

Kawasan Danau Purba Borobudur termasuk dalam fasies distal. Jenis bahaya pada fasies zona distal (zona keempat) berupa hujan abu, aliran lahar, dan banjir.

b. Riwayat Kebencanaan

1) Gempa bumi

Sesar di sekitar kawasan Danau Purba Borobudur banyak dijumpai. Sebelah selatan pada pegunungan Menoreh, pada sesar sungai Progo, kemudian pada sungai Tangsi di sebelah utara dan sesar pada Kaliduren yang menyebabkan munculnya mata air asin. Keberadaan sesar tersebut membuktikan bahwa pernah terjadi riwayat kebencanaan berupa gempa bumi.



Gambar 22. Sesar pada sungai Sileng di Kaliduren Lokasi 414434 MT 9156926 MU (Sumber: Dokumentasi pribadi, 2019)

## 2) Letusan Gunungapi

Kawasan Danau Purba Borobudur dikelilingi beberapa Gunungapi. Gunung Merapi merupakan gunung yang masih aktif sampai sekarang. Aktivitas Gunung Merapi berpotensi mengancam secara primer maupun sekunder. Ancaman primer berupa hujan abu. Hasil observasi ditemukan endapan abu vulkanik di beberapa lokasi pengambilan sampel dengan kedalaman satu meter di bawah permukaan tanah. Ancaman sekunder berupa banjir lahar. Endapan laharik ditemukan pada singkapan sungai Pabelan, yang berhulu dari gunung Merapi. Endapan ini menunjukkan adanya batu-batu andesit yang besar dengan ciri permukaan halus, dan cenderung memiliki bentuk membulat.



Gambar 23. Endapan lahar dari sungai Pabelan Lokasi 415796 MT 9156451 MU (Sumber: Dokumentasi pribadi, 2019)

### 3) Tanah longsor

Pegunungan Menoreh di sisi selatan kawasan Danau Purba Borobudur rentan terjadi longsor. Pegunungan Menoreh merupakan pegunungan struktural yang terdenudasi. Struktur material yang ada di pegunungan Menoreh mudah tererosi oleh *run off* (aliran air hujan). Besarnya aliran permukaan menyebabkan erosi semakin besar. Perubahan penggunaan lahan juga memicu terjadinya longsor di pegunungan Menoreh. Hasil pengamatan di lapangan, lokasi longsor ditemukan di sepanjang jalan-jalan desa dan lahan budidaya penduduk.



Lokasi 403512 MT 9158890 MU



Lokasi 399089 MT 9164021 MU



Lokasi 403453 MT 9158886 MU



Lokasi 403040 MT 9158616 MU

Gambar 24. Kondisi tanah longsor di pegunungan Menoreh (Sumber: Dokumentasi pribadi, 2019)

#### 4) Banjir

Kawasan bekas rawa-rawa secara umum digunakan sebagai lahan pertanian tipe sawah irigasi dan sawah tada hujan. Bekas rawa-rawa ketika terjadi hujan membentuk genangan-genangan air. Curah hujan semakin tinggi maka genangan yang terbentuk semakin luas. Genangan tersebut menyebabkan kerusakan bagi lahan pertanian milik penduduk, sehingga dapat merusak tanaman dan menyebabkan gagal panen.



Gambar 25. Kondisi lahan pertanian penduduk setelah hujan Lokasi 412075 MT 9158680 MU (Sumber: Dokumentasi pribadi, 2019)

## B. Pembahasan dan Temuan

### 1. Bukti-bukti otentik fenomena lingkungan yang menunjukkan bahwa kawasan sekitar Candi Borobudur merupakan Danau Purba

#### a. Pra pembentukan Danau Purba Borobudur

Akibat proses tektonik berupa pengangkatan maka terbentuklah pegunungan Menoreh. Pegunungan Menoreh mengisolasi lingkungan laut

di kawasan Borobudur sehingga air laut terjebak. Buktiya di pegunungan Menoreh, jenis batuannya gamping dan batuan vulkanik. Batuan gamping menunjukkan kalau kawasan Borobudur dulu merupakan lingkungan laut. Endapan lahar juga banyak ditemukan, yang membuktikan bahwa aktivitas vulkanik ikut berperan dalam proses pembentukkan Danau Purba Borobudur. HM menjelaskan bahwa:

“Kawasan sekitar Candi Borobudur pada 500.000 tahun yang lalu merupakan sebuah laut kemudian berubah menjadi laguna. Akibat proses tektonisme dan vulkanisme maka air laut terjebak di bawah material vulkanik, sehingga air menjadi asin. Bukti air laut yang terjebak yaitu pada mata air asin di Kaliduren (Kamis: 28/03/2019).

Mulyaningsih, et al. (2006: 103) bahwa: pengangkatan Pegunungan Selatan pada kala Pleistosen awal, telah membentuk cekungan di kawasan Borobudur dan Yogyakarta. Cekungan Borobudur terbentuknya diawali adanya pengangkatan pegunungan selatan kemudian dipengaruhi aktivitas letusan Merapi pada perkembangan berikutnya.

Mata air asin pada kawasan sekitar Candi Borobudur termasuk pada lingkungan air payau. Letusan gelembung-gelembung yang keluar dari lubang mata air asin Kaliduren juga dapat teramat. Letusan gelembung-gelembung tersebut berupa gas yang terkandung pada air yang mensuplai mata air asin. Bukti letusan gelembung gas tersebut, mengindikasikan bahwa material yang terendapkan di kawasan Borobudur mengandung bahan organik yang tinggi (lempung hitam). Lingkungan air payau juga ditemukan pada kedalaman muka air tanah lebih dari 15 meter, hal ini

membuktikan bahwa terdapat air laut yang terjebak di kawasan Borobudur.

Hasil wawancara terhadap HM, menjelaskan bahwa:

“Awalnya air yang terjebak merupakan air asin, karena memperoleh input air dari gunung-gunung sekitar seperti: Merapi, Merbabu, Sumbing, Tidar dan Menoreh maka menjadi payau, kemudian lama-kelamaan akan bisa menjadi air tawar(Kamis: 28/03/2019)”.



Gambar 26. Mata air asin di Kaliduren (A. Kondisi mata air asin, B. Papan informasi di lokasi mata air asin) Lokasi 414434 MT 9156926 MU (Sumber: Dokumentasi pribadi, 2019)

HM menambah penjelasan bahwa:

“Sebagai contoh kawasan Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta yang memiliki ketinggian sekitar 40 Mdpal, apabila di bor diperoleh endapan material vulkanik Merapi pada kedalaman 90 meter, maka lautnya menjadi terisolir dan airnya terjebak oleh endapan material Merapi (Kamis: 28/03/2019)”.

Mulyaningsih et al. (2006: 103) bahwa cekungan-cekungan yang terbentuk akibat pengangkatan pegunungan selatan selanjutnya dipengaruhi aktivitas Merapi. Kawasan sekitar Candi Borobudur sebelumnya merupakan sebuah lautan yang terisolasi oleh pengangkatan pegunungan selatan, kemudian dalam proses perkembangannya

dipengaruhi letusan Merapi sehingga menjadi dataran seperti yang dijumpai sekarang.

b. Terbentuknya Danau Purba Borobudur

Temuan di lapangan terdapat banyak singkapan endapan danau berupa lempung hitam. Singkapan dapat diamati di sepanjang sungai di kawasan Borobudur. HM yang mengatakan bahwa:

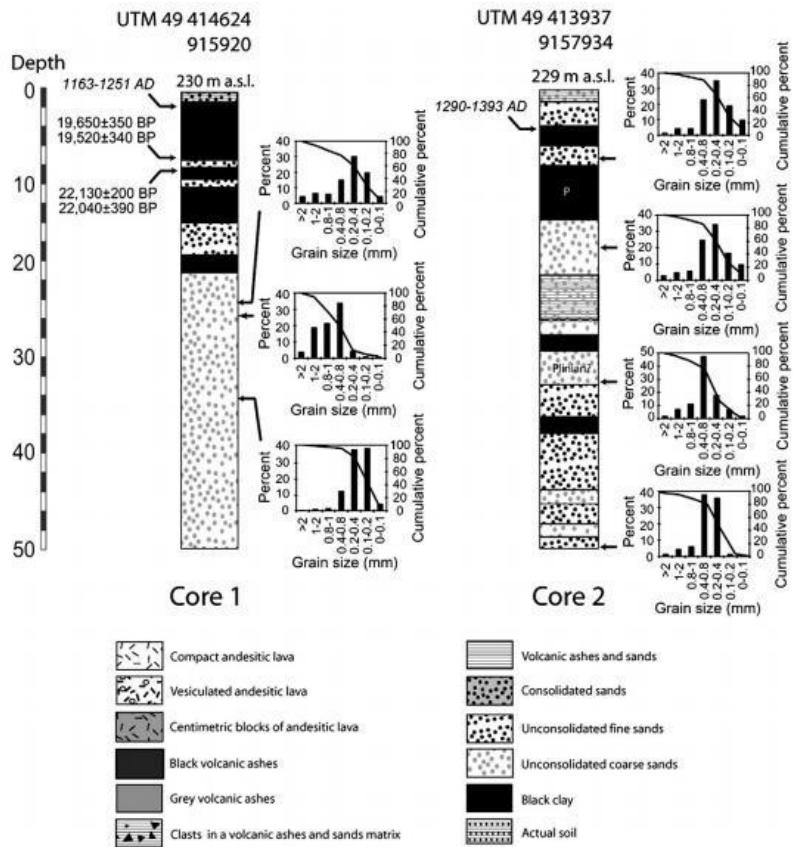
“Berawal dari pengamatan di Rawapening yang sering diambil tanahnya oleh masyarakat untuk dijadikan pupuk. Ternyata endapan rawa tersebut berwarna hitam dan mengandung bahan organik tinggi. Kemudian, pada kawasan sekitar Candi Borobudur ditemukan juga endapan lempung hitam, yang mengandung serbuk sari tanaman komunitas air, seperti: genjer, teratai dan rumput-rumput air (Kamis: 28/03/2019)”.

Keberadaan Danau Purba Borobudur juga dikuatkan oleh Gomes, et al. (2010: 264) bahwa: Gunungapi yang mengelilingi cekungan Borobudur menghasilkan beberapa ledakan signifikan dan aliran piroklastik yang tersimpan di cekungan Borobudur, yang akhirnya membendung jaringan hidrografi dan menghasilkan setidaknya ada enam Danau Purba Borobudur selama 119.000 tahun terakhir. Peristiwa pengangkatan, perlipatan, pensesaran cekungan kendeng dan letusan Gunungapi Merapi pada 40.000-20.000 tahun lalu, menyebabkan terbentuknya Danau Borobudur yang semula laguna karena terputusnya hubungan sungai-sungai yang menuju ke Samudera Hindia (Murwanto, 2015: 29-31). Kawasan Danau Purba Borobudur erat kaitannya dengan proses vulkanik. Keberadaan Gunungapi di sekitar kawasan Danau Purba, menghasilkan material vulkanik berupa lahar yang kemudian diendapkan di dasar danau.

Endapan lempung hitam yang ditemukan memiliki tebal antara 2 sampai 3 meter. Endapan lempung hitam tersebut, tertindih oleh lapisan endapan lahar Merapi. Endapan lempung hitam dijelaskan lebih detail oleh HM, bahwa:

“Singkapan lempung hitam pada dinding-dinding sungai merupakan endapan Danau Borobudur terakhir. Tebal endapan danau yang tersingkap sekitar tiga meter. Kawasan sekitar Candi Borobudur dulunya merupakan sebuah kolam/cekungan yang terisi endapan dan kombinasi dengan tanaman sekitar. Tetapi, pengendapan di dasar Danau Borobudur tidak stabil karena dipengaruhi oleh keberadaan Gunungapi aktif maka terdapat selang-seling antara endapan danau dengan endapan vulkanik (Kamis: 28/03/2019)”.

Gomes, et al. (2010: 250) menjelaskan, bahwa endapan Danau Borobudur merupakan selang-seling antara lempung hitam dan endapan material Gunungapi (tuff dan lahar). Endapan lempung hitam pada proses perkembangannya sangat dipengaruhi material vulkanik berupa lahar, tuff/abu vulkanik. Stratigrafi selang-seling endapan di kawasan Danau Purba Borobudur ditunjukkan oleh Gambar 27.



Gambar 27. Kolom stratigrafi endapan di sungai Sileng dan sungai Elo (Sumber: Gomes, et al. (2010: 250))

Endapan lempung hitam Danau Borobudur tidak terlalu hitam pekat dengan tekstur lempung berpasir. Hasil wawancara terhadap HM, dikatakan bahwa:

“Lempung hitam memiliki tekstur lempung berpasir karena ketika material endapan Danau Borobudur masih baru, maka tekturnya belum keras (masih lembek) kemudian tersapu oleh endapan material lahar. Maka endapan lahar terkadang ada lensa-lensanya lempung hitam. Ketika proses pengendapan material lahar berhenti, kemudian dilanjutkan proses pengendapan material danau (Kamis: 28/03/2019)”.

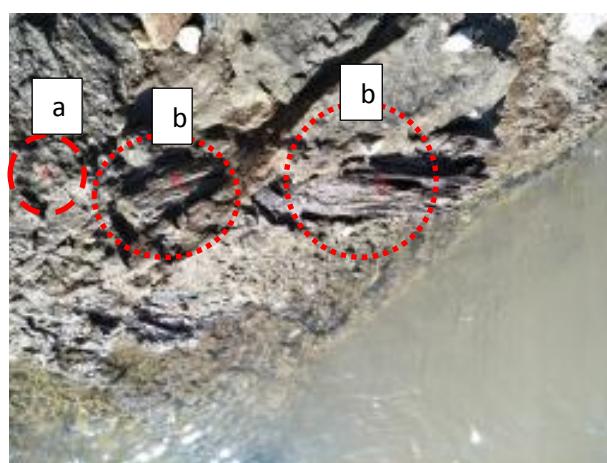
Danau Purba Borobudur dipengaruhi oleh deposit vulkaniklastik medan jauh yang diangkut oleh sungai dari Gunungapi aktif di timur laut dan barat laut, serta oleh limpasan dari pegunungan Menoreh di sebalah

barat (Murwanto, et al., 2004: 462). Mulyaningsih, et al. (2006: 109) menguatkan bahwa: terdapat perselingan antara endapan lempung hitam dan pasir hitam felspatik dilingkungan genang air Borobudur, serta perselingan antara lempung hitam dengan material abu dan lahar. Endapan lempung hitam yang dipengaruhi material vulkanik, menyebabkan tekstur lempung hitam tidak liat melainkan terdapat tekstur pasir.

Hasil observasi di lapangan ditemukan fosil kayu yang terjebak pada endapan lempung hitam. HM mengatakan bahwa:

“Fosil kayu progo bagian dari tanaman sekitar danau (Kamis: 28/03/2019)”.

Keberadaan Danau Purba Borobudur dibuktikan dengan ditemukannya lempung hitam yang mengandung serbuksari dari tanaman komunitas rawa (Murwanto & Purwoarminta, 2015: 116). Lempung hitam di kawasan Danau Purba Borobudur banyak mengandung bahan organik yang dihasilkan dari endapan hewan dan tumbuhan di sekitar.



Gambar 28. Kondisi fosil kayu di sungai Progo a. lempung hitam b. fosil kayu Lokasi 412640 MT 9160868 (Sumber: Dokumentasi pribadi, 2019)

Kawasan Danau Purba Borobudur juga memiliki rata-rata kedalaman muka air tanah yang sama. Danau Purba Borobudur sudah menjadi dataran lakustrin, tentunya kedalaman muka air tanah sama karena memiliki topografi dengan proses endapan penyusunnya relatif berurutan. Endapan lempung hitam yang memiliki sifat *impermeable* terhadap air, sehingga air terperangkap di atas endapan lempung hitam. Hasil wawancara dengan HM yang mengatakan bahwa:

“Lempung hitam relatif *impermeable* meskipun memiliki tekstur lempung pasiran (Kamis: 28/03/2019)”.

Sutandi (2012: 17) bahwa, kedalaman muka air tanah selalu mengikuti topografi atau lekuk-lekuk permukaan bumi. Kedalaman muka air tanah dipengaruhi oleh lempung hitam sebagai penampang topografi kawasan sekitar Candi Borobudur.

c. Hubungan pembangunan candi-candi di kawasan sekitar Candi Borobudur dengan keberadaan Danau Purba Borobudur

Kawasan Borobudur memiliki beberapa Candi yang tersebar di sekitarnya. Candi Mendut, Candi Pawon, dan Candi Borobudur yang sering menjadi daya tarik utama peneliti maupun para wisatawan. Keberadaan Danau Purba Borobudur dan keberadaan candi-candi tentunya memiliki hubungan terkait pemilihan lokasi pembangunan candi. Hasil wawancara terhadap HM mengatakan bahwa:

“Candi Borobudur dibangun di atas bukit, jadi kanan kirinya merupakan Danau (Kamis: 28/03/2019)”.

Soeroso (2010: 198) menyatakan bahwa candi Borobudur dahulu kala diduga adanya di tengah-tengah telaga, perlambang bangunan agung perwujudan bunga teratai yang dilahirkan Budha Maitreya yang akan datang di dunia. Pemilihan pembangunan Candi Borobudur didasarkan pada kajian lingkungan dan kajian agama Budha. Lingkungan danau yang indah dan sesuai dengan filosofi Budha, maka sudah tepat kawasan tersebut digunakan untuk pendirian candi.

Candi Borobudur saat ini selain menjadi tempat prosesi keagamaan juga menjadi tempat pariwisata yang sangat terkenal. Candi Borobudur dibangun pada abad ke 8 dengan memiliki 1460 panel cerita relief, dan ditinggalkan pada abad ke 10 (Soediman, 1973: 102; Tabrani, 2013: 2). Roesmanto (2010: 34) menyatakan bahwa: pembangunan Candi Borobudur bisa jadi dimaksudkan untuk menandingi dan mengalahkan kebesaran agama Hindu. Hasil wawancara terhadap HM mengatakan bahwa:

“Alasan pembangunan Candi Borobudur karena digunakan untuk meditasi/peribadatan, sehingga membutuhkan suasana alam sekitar yang indah, tenang dan untuk menuju Candi Borobudur memerlukan tantangan (Kamis: 28/03/2019)”.

Alasan untuk menandingi kebesaran agama Hindu, pembangunan Candi Borobudur tentunya didasarkan pada filosofi agama Budha itu sendiri, sehingga fenomena lingkungan kawasan Borobudur sesuai untuk pembangunan candi tersebut.

Pembangunan candi yang memerlukan kesesuaian lahan sudah dipertimbangkan oleh penguasa terdahulu. Keberadaan Candi Borobudur

tidak jauh dari aliran sungai-sungai yang dijumpai sekarang. Hasil observasi di lapangan, di sisi selatan Candi Borobudur banyak Dusun yang mengindikasikan berkaitan dengan keberadaan danau, seperti: Sabrangrowo, Bumisegoro, Tanjung, Teluk dan Gopalan. Terbuktinya keberadaan Danau Purba Borobudur, kemudian timbul pertanyaan bagaimana candi-candi di kawasan Borobudur tersebut dibangun, HM menjelaskan bahwa:

“Danau terbentuk jauh sebelum candi dibangun, pada saat pembangunan Candi fenomena yang ada sudah berupa rawa-rawa (Kamis: 28/03/2019)”.

Nama Dusun Sabrangrowo sesuai dengan pernyataan *keyperson*, bahwa pada saat candi dibangun kawasan sekitar Candi Borobudur kondisi geografisnya banyak rawa-rawa. Widodo & Hastuti (2017: 8) menyatakan bahwa, Dusun Gopalan diartikan masyarakat sebagai tanggul untuk membelokan sungai Sileng supaya dimanfaatkan sebagai lahan pertanian tidak membentuk rawa. Toponimi kawasan sekitar Candi Borobudur menunjukkan keberadaan lingkungan air pada masa lampau.

Penelitian (Roesmanto, 2010: 35) mengungkapkan bahwa

“Rakai Warak logikanya menempati sebuah keraton yang tidak jauh dari calon lahan untuk Candi Borobudur, kedekatan Candi dengan keratonnya bisa sejauh jarak Candi Panataran dan keraton Majapahit di Trowulan, Mojokerto, bisa juga sedekat kompleks Ratu Baka dengan Candi Prambanan, tetapi tentunya lebih jauh lebih jauh dari jarak keraton Demak dengan masjid Agung Demak, atau jarak antara keraton Surakarta dengan masjid Agung Surakarta pada beberapa abad sesudahnya”.

Hasil pengamatan di lapangan tidak dijumpai sisa-sisa bekas reruntuhan keraton yang berkuasa pada masa pembangunan Candi Borobudur. HM mengatakan bahwa:

“Magelang pada zaman mataram kuno sudah menjadi pusat pemerintahan. Kemungkinan di Meteseh komplek museum Diponegoro, karena ditemukan banyak situs purbakala, tetapi bisa juga di sekitar Gunung Ukir yang terdapat prasasti Canggal karena di bawahnya banyak nama Dusun bernama Medangan, Tirto dan Gajahan (Kamis: 28/03/2019)”.

Letak keraton tempat penguasa Borobudur pada masa lalu belum secara pasti. Hasil analisis lokasi keraton tidak terlalu jauh yaitu masih di kawasan sekitar Magelang, tetapi untuk menuju keraton memerlukan perjuangan sesuai filosofi agama Budha.

d. Perubahan Danau Purba Borobudur menjadi dataran Borobudur

Hasil observasi di lapangan terdapat beberapa endapan di kawasan Borobudur, di antaranya endapan lahar dan lempung hitam. Lahar merupakan singkapan paling atas di bawah permukaan tanah. Lahar memiliki peranan dalam perubahan lingkungan danau menjadi dataran. Mata air yang debitnya semakin berkurang juga diyakini menjadi faktor berkurangnya pasokan air ke kawasan Danau Purba Borobudur. Mata air yang masih keluar airnya memiliki debit yang beragam, mulai yang debitnya besar sampai tanpa aliran. Hasil wawancara terhadap HM, dikatakan bahwa:

“Selama lingkungan Danau Borobudur masih eksis, selalu dipengaruhi aktivitas vulkanik Merapi dan longsoran Menoreh. Karena aktivitas tektonisme yang memicu letusan beberapa gunung di sekitar Danau Borobudur, menyebabkan sungai-sungai mengangkut material vulkanik yang kemudian terendapkan di

dasar Danau Borobudur. Seiring berjalananya waktu yang disertai aktivitas vulkanisme, lama kelamaan Danau Borobudur tertutup oleh material lahar yang terangkut oleh sungai-sungai yang berhulu di Merapi (Kamis: 28/03/2019)”.

Pendangkalan Danau Purba Borobudur menjadi dataran lakustrin berlangsung berkali-kali (Murwanto & Purwoarminta, 2015: 116). Aktivitas Merapi pada abad ke 11-14 menghasilkan endapan dengan volume sangat besar yang menyebabkan Danau Purba Borobudur mengering pada 470 tahun yang lalu (Mulyaningsih, et al., 2006: 111). Analisis perhitungan didasarkan dengan tahun diadakannya konferensi penentuan umur batuan (*Carbon C14*) pada tahun 1950, maka 1950 dikurangi 470 hasilnya 1480. Danau Purba Borobudur benar-benar sudah menjadi dataran lakustrin pada tahun 1480, maka bekas rawa-rawa itu masih bisa dinikmati 3-6 abad setelah Candi Borobudur berdiri.

## **2. Potensi bencana alam di kawasan sekitar Candi Borobudur**

Kawasan sekitar Candi Borobudur berpotensi terdampak bencana gempa bumi, letusan Gunungapi, tanah longsor, banjir dan degradasi lingkungan. Potensi gempa bumi juga mengancam karena ditemukan banyak sesar tektonik di kawasan sekitar Candi Borobudur. HM mengatakan bahwa:

“Terdapat beberapa sesar tektonik, seperti di sungai Sileng, sungai Tangsi, pegunungan Menoreh dan pada pembuatan ketiga Candi Mendut, Candi Pawon serta Candi Borobudur itu lurus, tetapi sekarang setelah dilakukan kajian ulang, di antara ketiga candi tidak lurus lagi, karena di antara candi ada pergerakan sesar (Kamis: 28/03/2019)”.

Murwanto, Purwoarminta, & Siregar (2014: 148-151) bahwa: beberapa sesar yang ada di kawasan Borobudur yaitu sesar Progo, sesar Sileng, sesar

Kaliduren dan sesar Tangsi. Sesar banyak ditemukan di sebelah selatan kawasan Borobudur yaitu pada pegunungan Menoreh (Effendi, Ariyoga, & Rizkianto, 2018: 1226). Kawasan Borobudur memiliki banyak sesar yang berpotensi aktif pada waktu yang akan datang.

Gunung Merapi berpengaruh terhadap potensi kebencanaan di kawasan sekitar Candi Borobudur. Newhall, et al. (2000: 47) menjelaskan bahwa: letusan Merapi menyebabkan desentralisasi peradaban di Jawa Tengah. Gunung Merapi dianggap memiliki aktivitas erupsi teraktif yang mengancam kawasan Jawa bahkan Indonesia (Awang & Margaretha, 2002: 3; Awang, 2007; Sutikno, et al., 2007: 3; Gertisser, et al., 2011: 57-58; Plummer, Carlson, & Hammersley, 2016: 78). Aktivitas erupsi Merapi yang biasanya terjadi meliputi luncuran awan panas, hujan abu, aliran-lahar dan berpotensi terjadi longsor tubuh Gunung. Tubuh Gunung Merapi produk pra 1994 sampai 1994 berpotensi longsor ke arah barat dan barat daya (Bronto, et al., 2014: 181). Longsoran tubuh Gunungapi dapat dipicu oleh aktivitas vulkanik maupun tektonik. Dibyosaputro, et al. (2016: 163) menyatakan bahwa: Gunung Merapi memiliki sifat letusan dari efusif sampai eksplosif. Gunung Merapi ketika meletus secara eksploratif maka material vulkanik dapat terhamburkan pada wilayah sekitarnya. Longsoran tubuh Gunungapi dapat dipicu oleh “aktivitas tektonik”. Aktivitas tektonik memicu longsoran ke arah selatan menuju kawasan Godean Kabupaten Sleman sejauh 30-35 kilometer dari puncak (Bronto, et al., 2014: 179-181). Kejadian tersebut bisa terjadi kembali, karena Gunung Merapi bersinggungan dengan aktivitas sesar Opak.

Longsoran tubuh Gunung Merapi yang mengarah ke sungai, kemudian terkikis dan terangkut oleh aliran air menjadi aliran lahar.

Aktivitas vulkanik dan tektonik yang terjadi bersamaan dapat memicu kejadian luar biasa. Kejadian luar biasa tersebut juga dapat terjadi di Gunung Merapi yang menyebabkan erupsi secara eksplosif dan longsoran tubuh Gunung. Kejadian luar biasa tersebut menyebabkan longsoran tubuh Gunung Merapi seperti yang pernah terjadi di Yogyakarta dengan jauh 30-35 kilometer dari puncak tersebut terulang. Bronto, et al. (2014) bahwa: produk Gunung sebelum 1994 lereng Merapi berpotensi longsor ke arah barat dan barat daya maka kawasan yang terdampak bisa sampai ke kawasan Borobudur, karena hanya berjarak secara *buffer* 32 kilometer dari puncak Gunung Merapi.

Kawasan Borobudur termasuk dalam fasies distal, yang berpotensi terjadi banjir lahar, hujan abu dan banjir. Aliran lahar yang mengarah ke kawasan sekitar Candi Borobudur saat ini melewati sungai Pabelan. Hasil observasi ditemukan material endapan lahar berupa batuan andesit pada pertemuan sungai Pabelan-Progo. Hasil wawancara terhadap HM mengatakan bahwa:

“Kali Pabelan purba dipenuhi endapan lahar, maka aliran airnya membentuk sungai Pabelan yang sekarang (Kamis: 28/03/2019)”.

Maruyama (1993: 341) menyatakan bahaya lahar di sungai Pabelan mulai dari tingkat sedang sampai sangat tinggi. Kerawanan banjir lahar di Kabupaten Magelang pada masa yang akan datang memiliki kecenderungan semakin meningkat (Dibyosaputro, et al., 2016: 168). Kawasan sekitar Candi

Borobudur berpotensi terdampak hujan abu dan banjir lahar yang terangkut melalui sungai-sungai yang berhulu dari Gunung Merapi.

Tanah longsor banyak ditemukan pada sisi selatan kawasan sekitar Candi Borobudur. Hasil wawancara terhadap HM yang mengatakan bahwa:

“Penyebab dataran lakustrin yaitu longsoran dari Menoreh (Kamis: 28/03/2019)”.

Bongkah material hasil longsoran pegunungan Menoreh ditemukan di selatan Dusun Nglipoh (Murwanto & Purwoarminta, 2014: 152). Candi Borobudur bagian selatan merupakan zona kerawanan bahaya longsor paling tinggi (Aeni, et al., 2018: 1128). Longsor tetap mengancam di kawasan Borobudur, terutama pada bagian selatan candi.

Banjir yang ditemukan di kawasan sekitar Candi Borobudur yaitu berupa genangan. Selama pengamatan dan pengukuran di lapangan tidak dijumpai banjir luapan sungai. Hasil wawancara terhadap HM yang mengatakan bahwa:

“Perubahan penggunaan lahan dapat mengganggu proses infiltrasi air hujan (Kamis: 28/03/2019)”.

Kawasan Borobudur berpotensi terdampak banjir genangan (Lestari, et al., 2017: 356). Banjir genangan yang banyak ditemukan, perlu diatasi untuk mencegah besarnya dampak banjir.

Degradasi lingkungan yaitu lebih lebih disebabkan oleh pertambahan jumlah penduduk, perubahan penggunaan lahan, dan penggunaan air secara berlebihan akibat pertambahan penduduk. Pertambahan penduduk juga akan membuat permukiman baru serta pengambilan sumber daya air yang terus

bertambah. Hasil pengamatan di lapangan terdapat permukiman, gedung dan pusat-pusat wisata baru di kawasan sekitar Candi Borobudur yang merubah kawasan pertanian menjadi permukiman, gedung-gedung dan hotel sebagai penunjang pariwisata. Penduduk semakin bertambah jumlahnya dan perubahan penggunaan lahan akan menyebabkan semakin dalamnya muka air tanah akibat pengambilan air secara besar-besaran, sedangkan pasokan air hujan semakin berkurang.

Amblesan tanah juga berpotensi di Kawasan ini. Hasil pengukuran dilapangan tingkat salinitas air yang lebih dari 15 meter berada pada lingkungan air payau, yang tidak layak untuk dikonsumsi. Hasil wawancara terhadap HM, bahwa:

“Pada kedalaman 20 meter saja air sudah asin (Kamis: 28/03/2019)”.

Masyarakat diharapkan tidak membuat sumur yang terlalu dalam, supaya tidak terkontaminasi air payau yang terjebak di endapan bekas Danau Purba Borobudur.

### **3. Relevansi fenomena lingkungan dan potensi bencana di kawasan sekitar Candi Borobudur sebagai sumber belajar geografi di SMA**

Kawasan Borobudur selain daya tarik candi dapat pula dikembangkan wisata pendidikan berbasis bekas Danau Purba Borobudur. Hasil wawancara terhadap HM mengatakan bahwa:

“Kawasan Borobudur bagus untuk Praktikum Lapangan Geografi (PLG) (Kamis: 28/03/2019)”.

Potensi atraksi pariwisata pendidikan terkait bekas Danau Purba Borobudur meliputi kondisi geomorfologi, singkapan jenis batuan (litologi),

stratigrafi, fenomena lingkungan, relief candi, hidrologi dan aksesibilitas yang mudah (Murwanto & Purwoarminta, 2019: 110). Relevansi fenomena lingkungan dan potensi bencana di kawasan sekitar Candi Borobudur dapat dilakukan sebagai sistem pembelajaran di dalam kelas maupun di luar kelas.

Fenomena lingkungan geografi dapat dengan mudah dijumpai di kawasan sekitar Candi Borobudur. Akses menuju setiap lokasi temuan mudah dan aman. Perjalanan lapangan menelusuri setiap lokasi temuan lebih disarankan, karena siswa dan guru dapat berinteraksi langsung dengan temuan fenomena geografi pada setiap lokasi. Relevansi fenomena lingkungan dan potensi bencana di kawasan sekitar Candi Borobudur sebagai sumber belajar geografi di Sekolah Menengah Atas (SMA) sesuai kurikulum 2013 sebagai berikut:

a. Relevansi fenomena lingkungan dan potensi bencana di kawasan sekitar

Candi Borobudur sebagai sumber belajar geografi di SMA

Tabel 10. Relevansi fenomena lingkungan dan potensi bencana di kawasan sekitar Candi Borobudur pada mata pelajaran geografi kelas X

Kelas X					
No	KD (Kompetensi Dasar)	Fenomena Lingkungan di Kawasan Danau Purba Borobudur	Materi Pembelajaran	Cara penggunaan dalam pembelajaran di kelas	Cara penggunaan dalam pembelajaran di luar kelas
1	3.4 Menganalisis hubungan antara manusia dengan lingkungan sebagai akibat dinamika litosfer	3.4.1 Jenis tanah 3.4.2 Jenis batuan 3.4.3 Jenis stratigrafi 3.4.4 Kemiringan lereng 3.4.5 Ketinggian tempat 3.4.6 Unit relief 3.4.7 Bentuk lahan	-Dasar-dasar geologi -Aktivitas manusia dalam pemanfaatan batuan penyeusun litosfer -Pengaruh tektonisme terhadap kehidupan -Pengaruh vulkanisme terhadap kehidupan -Pengaruh proses eksogen terhadap kehidupan -Pembentukan tanah dan pemanfaatannya	Siswa diberikan peta tematik dan gambar hasil dokumentasi di lapangan, kemudian siswa diminta untuk menganalisis dan mendiskusikan dengan teman serta kajian penelitian terdahulu (artikel, buku, dll)	Pembelajaran dilakukan dengan model <i>Group Investigation</i> (GI) Siswa secara kelompok melakukan pengamatan dan pengukuran kondisi geologi dan geomorfologi kemudian ditandai dengan <i>Global Positioning System</i> (GPS)
2	3.6 Menganalisis hubungan antara manusia dengan lingkungan sebagai akibat dinamika hidrosfer	3.6.1 Persebaran kedalaman muka air tanah 3.6.2 Persebaran mata air 3.6.3 Kondisi sungai 3.6.4 Salinitas air	-Siklus air -Perairan darat dan potensinya -Pemanfaatan dan pelestari perairan darat dalam unit Daerah Aliran Sungai (DAS) -Kualitas air	Siswa diberikan peta tematik, data-data terkait debit mata air, tingkat salinitas dan gambar hasil dokumentasi di lapangan, kemudian siswa diminta untuk menganalisis dan mendiskusikan dengan teman serta kajian penelitian terdahulu (artikel, buku, dll)	Siswa secara kelompok melakukan pengamatan, pengukuran dan wawancara kondisi perairan darat kemudian ditandai dengan <i>Global Positioning System</i> (GPS)
3	3.7 Menganalisis mitigasi dan adaptasi bencana alam dengan kajian geografi	3.7.1 Sesar tektonik yang berpotensi menyebabkan gempa bumi 3.7.2 Jenis fasies yang menunjukkan potensi bahaya letusan Gunungapi 3.7.3 Bekas kejadian longsor dan material tanah longsor 3.7.4 Banjir genangan di bekas rawa-rawa Borobudur	-Jenis dan karakteristik bencana alam -Sebaran potensi bencana alam -Usaha pengurangan risiko bencana alam -Kelembagaan penanggulangan bencana alam	Siswa diberikan data riwayat kebencanaan di kawasan Dataran Borobudur, kemudian siswa diminta untuk melakukan analisis pola persebaran bencana dan upaya mitigasi	Siswa secara kelompok melakukan pengamatan, pengukuran pada singkapan sungai kemudian ditandai dengan <i>Global Positioning System</i> (GPS)

Sumber: Permendikbud 2016 & Hasil Penelitian 2019

Tabel 11. Relevansi fenomena lingkungan dan potensi bencana di kawasan sekitar Candi Borobudur pada mata pelajaran geografi kelas XI

Kelas XI					
No	KD (Kompetensi Dasar)	Fenomena Lingkungan di Kawasan Danau Purba Borobudur	Materi Pembelajaran	Cara penggunaan dalam pembelajaran di kelas	Cara penggunaan dalam pembelajaran di luar kelas
1	3.4 Menganalisis dinamika dan masalah kependudukan serta sumber daya manusia di Indonesia untuk pembangunan	3.4.1 Luas wilayah 3.4.2 Jumlah penduduk 3.4.3 Kepadatan penduduk 3.4.4 Penggunaan lahan	-Sumber data kependudukan -Kuantitas dan analisis demografi -Kualitas penduduk -Mobilitas penduduk dan pengendaliannya -Permasalahan kependudukan dan solusinya	Siswa diberikan data kependudukan secara temporal untuk mengetahui pertumbuhan penduduk Siswa diberikan data jumlah penduduk dan luas wilayah untuk menghitung kepadatan penduduk Siswa diberikan peta tema penggunaan lahan untuk menganalisis relevansi mata pencaharian penduduk dengan penggunaan lahan	Pembelajaran dilakukan dengan model <i>Group Investigation</i> (GI) Siswa secara kelompok melakukan pengamatan dan pengukuran kondisi kependudukan dan penggunaan lahan kemudian ditandai dengan <i>Global Positioning System</i> (GPS) Selanjutnya dibuat laporan dalam bentuk makalah

Sumber: Permendikbud 2016 & Hasil Penelitian 2019

Tabel 12. Relevansi fenomena lingkungan dan potensi bencana di kawasan sekitar Candi Borobudur pada mata pelajaran geografi kelas XII

Kelas XII					
No	KD (Kompetensi Dasar)	Fenomena Lingkungan di Kawasan Danau Purba Borobudur	Materi Pembelajaran	Cara penggunaan dalam pembelajaran di kelas	Cara penggunaan dalam pembelajaran di luar kelas
1	3.1 Menganalisis citra penginderaan jauh untuk perencanaan kajian tata guna lahan dan transportasi	3.1.1 Analisis dan pemetaan jenis tata guna lahan 3.1.2 Analisis dan pemetaan jaringan sungai 3.1.3 Analisis dan pemetaan jaringan jalan	-Konsep penginderaan jauh (jenis, aspek, interpretasi, manfaat, dan keunggulan penginderaan jauh) -Penginderaan jauh untuk tata guna lahan -Penginderaan jauh untuk pengembangan jaringan transportasi -Tata kelola dan lembaga penginderaan jauh	Siswa diberikan citra Quickbird, kemudian siswa mendeliniasi tata guna lahan, jaringan sungai dan jaringan jalan dengan cara menyalin menggunakan rapido pada kertas kalkir, selanjutnya melakukan tumpang susun peta.	Pembelajaran dilakukan dengan model <i>Group Investigation (GI)</i> . Siswa secara kelompok melakukan pengamatan dan pengukuran tata guna lahan, jaringan sungai dan jaringan jalan kemudian ditandai dengan <i>Global Positioning System (GPS)</i> .
2	3.2 Menganalisis pemanfaatan peta dan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk inventarisasi sumber daya alam, perencanaan pembangunan, kesehatan lingkungan dan mitigasi bencana	3.2.1 Pemetaan jenis tanah 3.2.2 Pemetaan kondisi geologi 3.2.3 Pemetaan jenis tanah 3.2.4 Pemetaan kemiringan lereng 3.2.5 Pemetaan ketinggian tempat 3.2.6 Pemetaan bentuk lahan 3.2.7 Pemetaan kedalaman muka air tanah	-Dasa-dasar peta dan pemetaan -Prinsip Sistem Informasi Geografis (SIG) -Sumber data dan basis data Sistem Informasi Geografis (SIG) -Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk inventarisasi sumber daya alam dan perencanaan pembangunan -Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk kajian kesehatan lingkungan dan mitigasi bencana	Siswa diberikan peta tematik, kemudian siswa mendeliniasi tata guna lahan, jaringan sungai dan jaringan jalan dengan cara menyalin menggunakan rapido pada kertas kalkir	Siswa secara kelompok melakukan pengamatan dan pengukuran sesuai tema yang suda ditentukan oleh guru kemudian ditandai dengan <i>Global Positioning System (GPS)</i> . Data yang membutuhkan analisis lebih lanjut diambil untuk dibawa ke laboratorium

Sumber: Permendikbud 2016 & Hasil Penelitian 2019

b. Alur kegiatan kerja lapangan siswa di kawasan sekitar Candi Borobudur

- 1) Citra Satelit: siswa diajak untuk mengamati dan menganalisis kondisi di kawasan sekitar Candi Borobudur.
- 2) Mata air asin Kaliduren: siswa diajak melakukan pengamatan dan pengukuran (debit air dan salinitas air) pada lingkungan *marine* sebelum terbentuk Danau Purba Borobudur.

- 3) Melakukan pengamatan sesar tektonik di sungai Tangsi dan/atau sungai Sileng.
- 4) Membuktikan endapan Danau Purba Borobudur: melalui singkapan yang ada di sungai Progo, sungai Elo, sungai Sileng dan sungai Pacet. Rekomendasi pengamatan bukti endapan Danau Purba Borobudur yaitu di singkapan tebing sungai Elo, melalui sarana *rafting*.
- 5) Bekas alur-alur *paleochannel* dan Lembah Mati: siswa dapat melakukan pengamatan dan pengukuran di Dusun Sabrang Rowo dan/atau Dusun Bumi Segoro.
- 6) Geomorfologi bekas Danau Purba Borobudur: siswa diajak mengunjungi Candi Borobudur sampai puncak, kemudian dapat mengamati bentuk lahan sekitar candi. Sebelah selatan pegunungan struktural terdenudasi Menoreh, dataran Borobudur, bekas alur-alur rawa Borobudur dan Gunungapi yang mengelilingi kawasan sekitar Candi Borobudur.

Penelitian ini menunjukkan bahwa pembelajaran geografi dapat didukung dengan pembelajaran di lapangan. Pemanfaatan objek di lingkungan sekitar sekolah, dapat meningkatkan kualitas pembelajaran. Kent, Gilbertson, & Hunt (1997) bahwa pembelajaran dapat dilakukan secara kerja lapangan observasional. Kawasan sekitar candi Borobudur dapat digunakan sebagai sumber belajar geografi. Guru geografi di seluruh Indonesia dapat mempergunakan obyek di lingkungan sekolahnya masing-masing sebagai sumber belajar geografi.

Guru geografi dapat mempergunakan objek di lingkungan sekitar sekolahnya dengan tahapan sebagai berikut: **Sebelum ke lapangan dengan siswa**, 1) Guru memilih Kompetensi Dasar (KD) yang akan dikolaborasikan sistem pembelajaran di dalam kelas dan di luar kelas. 2) Guru mengidentifikasi objek-objek di lingkungan sekitar. 3) Guru memvalidasi hasil temuan objek di lapangan dengan kajian teori dan penelitian terdahulu. 4) Membuat tabel relevansi objek temuan di lapangan dengan Kompetensi Dasar (KD) kurikulum 2013. 5) Guru memberikan pengantar di dalam kelas terkait materi pelajaran yang akan dipelajari siswa. 6) Setelah materi pelajaran sudah disampaikan kepada siswa di dalam kelas, guru mencari waktu luang untuk mengajak siswa *fieldtrip* menelusuri objek-objek di lingkungan sekitar sekolah yang relevan terhadap materi yang sedang diajarkan.

**Saat di lapangan dengan siswa**, 7) Guru dapat memberikan intrumen pengamatan kepada siswa, sambil guru menjelaskan kembali materi yang sudah disampaikan di dalam kelas. 8) Apabila penyampaian pengantar oleh guru dirasa cukup, kemudian siswa diperintahkan melakukan pengamatan dan mencatat hasil temuannya di lembar pengamatan siswa, dalam melakukan pengamatan siswa dapat dikelompokkan sesuai tema yang diberikan oleh guru. 9) Guru mendampingi aktivitas siswa yang mencatat seluruh temuan yang ada di lapangan. 10) Setelah selesai siswa mencatat seluruh hasil temuannya, guru memberikan kesimpulan dan langkah selanjutnya berupa pembuatan laporan.

### **Setelah melakukan pembelajaran di lapangan dengan siswa, 11)**

Pada pertemuan berikutnya, guru dan siswa mereduksi data hasil temuan di lapangan supaya dalam penyusunan laporan sesuai dengan tema yang sudah ditentukan guru. 12) Siswa membuat laporan hasil temuan di lapangan secara berkelompok. 13) Kemudian hasil laporan siswa di seminarkan di depan kelas, dan dipandu oleh guru. 14) Guru dapat memandu supaya terjadi diskusi antar kelompok dengan tema yang berbeda, dan guru juga menilai siswa selama proses seminar laporan siswa berlangsung. 15) Untuk mengakhiri pertemuan, guru dapat mempersilahkan kepada siswa untuk mengajukan pertanyaan, memberikan kesimpulan, dan mengapresiasi hasil kerja siswa.

### **C. Keterbatasan Penelitian**

Keterbatasan penelitian ini meliputi:

1. Peneliti tidak melakukan pemboran vertikal untuk pengambilan sampel, penelitian ini dibatasi pada observasi keadaan *outcrop* di permukaan bumi.
2. Peneliti tidak melakukan uji carbon C-14 untuk mengetahui umur batuan.
3. Peneliti tidak melakukan uji tanah secara detail, pengujian sampel tanah terbatas pada unsur jenis tanah, drainase dan permeabilitas.
4. Peneliti tidak melakukan uji kualitas air secara detail.
5. Penelitian ini belum sampai mengimplementasikan temuan sebagai sumber belajar secara praktis ke guru dan siswa.