

KAJIAN LAPISAN AKUIFER METODE *GEO-ELECTRICAL RESISTIVITY* SAMARINDA UTARA, KOTA SAMARINDA PROVINSI KALIMANTAN TIMUR

(Study of Aquifer on Resistivity Method Sub-District of North Samarinda City of Samarinda East Kalimantan Province)

Christian Sarungallo¹, Shalaho Dina Devy¹, Koeshadi Sasmito²

¹Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman

²Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman

E-mail: chrisefron8@gmail.com

Abstrak

Salah satu sektor penyokong perekonomian di Indonesia adalah Industri pertambangan. Di wilayah Kalimantan khususnya Kalimantan timur, aktivitas penambangan terbuka batubara telah banyak dilakukan. kegiatan penambangan terbuka batubara menyumbang peran besar dalam pertumbuhan ekonomi serta kemajuan teknologi bagi Indonesia. Untuk itu perlu dilakukan kajian pada setiap aspek penting seperti kajian hidrologi dan hidrogeologi berupa akuifer sehingga kegiatan penambangan dapat berjalan dengan baik dan dampak lingkungan yang ditimbulkan dapat diatasi. Kajian akuifer pada lokasi penelitian didasarkan pada nilai resistivitas material yang diperoleh lewat salah satu metode geofisika yaitu geolistrik dengan menggunakan konfigurasi *wenner-schlumberger*. Pada penelitian ini metode geolistrik dilakukan untuk mengetahui keadaan bawah permukaan bumi dengan menginjeksikan dua buah elektroda kedalam tanah menggunakan arus listrik searah dengan jarak tertentu sehingga dengan mengalirkan arus listrik searah dapat diketahui beda potensial dan diperoleh informasi tahanan jenis lapisan bawah permukaan bumi. Nilai tahanan jenis material yang diperoleh kemudian diinterpretasikan sehingga jenis akuifer pada daerah penelitian dapat diketahui. Hasil interpretasi dari nilai resistivitas material pada daerah penelitian menunjukkan bahwa sebaran akuifer untuk lintasan geolistrik 1,2 dan 3 adalah jenis akuifer semi tertekan sementara untuk lintasan geolistrik 4 adalah jenis akuifer tertekan. Berdasarkan hasil kajian hidrologi, Daerah yang diteliti memiliki curah hujan tahunan sebesar 3053,704 mm/tahun dengan luas daerah aliran sungai sebesar 16,586 km². Sementara itu nilai evapotranspirasi daerah penelitian adalah 1784,21 mm/tahun, *surface run-off* sebesar 913,51mm/tahun dan imbuhan airtanah sebesar 355,98mm/tahun.

Kata Kunci: Geolistrik, Konfigurasi *Wenner-Schlumberger*, Evapotranspirasi, *Surface Run-off*, Imbuhan Airtanah.

Abstract

One of the sectors supporting the economy in Indonesia is mining industry. In East Kalimantan, coal mining activity has been done widely. Coal-mining open-pit activities play a major role in the economic growth and the advancement of technology for Indonesia. Therefore, it is necessary to study every important aspect including the hydrological and hydrogeological studies but especially aquifers, so that mining activities can be well managed and the impact on the environment can be overcome. The study of aquifer from the study area is based on the resistivity value of the materials obtained through one of the geophysical methods that is the geo-electrical resistivity method, by using *Wenner-Schlumberger* configuration. In this study, geo-electrical resistivity method is performed in order to find out the condition of the subsurface by injecting two electrodes into the soil using direct current (DC) with certain distance so that potential difference can be known and resistivity information of subsurface layers can be obtained. The obtained resistivity value of the material is then interpreted so that the type of aquifer in the study area can be known. The interpretive results of the resistivity values of the materials in the study area showing that the distribution of aquifers based on measurement of geo-electrical line of line number one, two and three, were semi-confined aquifers. Meanwhile, the distribution of aquifers of line number four, were confined aquifers. Based on the results of hydrological studies, the area of study has annual rainfall of 3,053.704 mm/year with a watershed area of 16.586 km². The evapotranspiration value of the study area is 1,784.21 mm/year, *surface run-off* is 913.51 mm/year and groundwater recharge is 355.98 mm/year.

Keywords: Geo-electrical, *Wenner-Schlumberger* configuration, *Surface Run-off*, Groundwater Recharge.

PENDAHULUAN

Industri pertambangan merupakan salah satu industri penyokong perekonomian di Indonesia. Di wilayah Kalimantan khususnya di Kalimantan Timur aktivitas penambangan terbuka batubara telah banyak dilakukan. Kegiatan penambangan terbuka batubara menyumbang peran besar dalam pertumbuhan ekonomi serta kemajuan teknologi bagi Indonesia, namun tidak dapat dipungkiri

bahwa aktivitas penambang dapat memberikan pengaruh negatif terutama untuk lingkungan.

Pembukaan lahan untuk aktivitas penambangan akan mempengaruhi ketersediaan serta kualitas airtanah. Perubahan tata guna lahan dan morfologi akibat keberadaan operasi penambangan tambang terbuka akan berpengaruh terhadap kondisi airtanah. Pemahaman mengenai kondisi hidrologi dan hidrogeologi termasuk

kajian akuifer merupakan informasi penting untuk mengetahui karakteristik akuifer, pola aliran airtanah guna mengetahui seberapa besar aktivitas tambang dapat mempengaruhi kondisi airtanah. Selain itu, dengan mengetahui kondisi akuifer maka dapat diketahui pengaruh airtanah itu sendiri terhadap aktivitas penambangan.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan di CV. Rizky Maha karya Utama dengan menggunakan alat geolistrik untuk mengetahui nilai resistivitas dari material bawah permukaan pada lokasi penelitian.

Metode Pengumpulan Data

Metode yang digunakan untuk penelitian ini berupa metode induktif yang dimulai dengan studi pustaka serta observasi yang digunakan sebagai anjuran sampai pada akhir penelitian. Pendekatan yang digunakan berupa pendekatan analitik yang meliputi kajian hidrologi dan hidrogeologi berupa akuifer. Eksperimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen semu (*Quasi experiment Research*) yaitu experiment yang digunakan untuk penelitian lapangan (*Shadis et.al, 2002*), dimana sulit dilakukan pengontrolan terhadap variable-variable yang ada serta tidak adanya perlakuan yang berbeda pada objek penelitian. Selain itu *quasi experiment research* digunakan karena adanya data-data yang diperlukan dalam penelitian yang tidak bisa didapatkan secara langsung selama penelitian dan juga data yang diperlukan berupa data sebelum dilakukannya penelitian (*Glass, 1997*).

Metode Pengolahan Data

Data resistivitas dari material pada daerah penelitian diperoleh dari pengukuran menggunakan alat geolistrik pada empat lintasan dengan panjang tiap lintasan yaitu 235 meter. Untuk lintasan pertama hingga ketiga berada pada formasi geologi Pulau Balang sementara itu untuk lintasan keempat berada pada formasi geologi Balikpapan. Data resistivitas dari material akan memberikan informasi mengenai lapisan bawah permukaan serta jenis akuifer.

Imbuhan airtanah merupakan bagian dari siklus hidrologi yang ditentukan oleh keseimbangan air dalam suatu daerah aliran sungai. Siklus hidrologi dipengaruhi oleh besarnya presipitasi, aliran air permukaan, imbuhan airtanah dan evapotranspirasi. Data curah hujan yang digunakan berupa data curah hujan selama sepuluh tahun terakhir. Kuantitas aliran air permukaan sangat dipengaruhi oleh kondisi daerah aliran sungai serta kondisi tataguna lahan. Selain itu, nilai evapotranspirasi

alami juga sangat tergantung dari data presipitasi dan kondisi fisik dari tataguna lahan wilayah daerah aliran sungai (DAS).

HASIL PENELITIAN

Geologi Daerah Penelitian

Geologi daerah penelitian merupakan gambaran daerah penelitian yang menunjukkan penyebaran kedudukan struktur geologi, penyebaran formasi batuan serta hubungan antar batuan. Berdasarkan Peta Geologi Lembar Samarinda daerah penelitian berada pada formasi geologi Pulau Balang dan formasi geologi Balikpapan (*Supriatna, Sukardi dan Rustandi, 1995*). Geologi daerah penelitian digambarkan pada peta geologi yang dapat dilihat pada gambar 1. Daerah penelitian berada pada dua formasi yaitu:

a. Formasi Pulau Balang (Tm_{pb})

Formasi Pulau Balang (Tm_{pb}) memiliki jenis batuan (litologi) berupa perselingan batupasir greywacke dan batupasir kuarsa sisipan batugamping, batulempung, batubara, dan tuf dasit. Pada formasi ini dijumpai batupasir greywacke berwarna kelabu kehijauan, padat, berketebalan lapisan antara 50 - 100 cm. Pada formasi ini juga dijumpai batupasir kuarsa berwarna kelabu kemerahan, pada formasi ini tufan dan gampingan berketebalan lapisan 15 - 60 cm, batugamping berwarna coklat muda kekuningan, mengandung foraminifera besar. Batugamping ini terdapat sebagai sisipan atau lensa dalam batupasir kuarsa, berketebalan lapisan 10 - 40 cm. Formasi Pulau Balang menunjukkan umur Miosen Tengah dengan lingkungan pengendapan di laut dangkal. Batulempung berwarna kelabu kehitaman, tebal lapisan 1 - 2 cm, berselingan dengan batubara, ketebalan lapisan ada yang mencapai 4 m. Tufa dasit, berwarna putih merupakan sisipan dalam batupasir kuarsa.

Berdasarkan hasil survey di lapangan, daerah penelitian yang berada pada formasi pulau balang banyak di dominasi oleh batupasir kuarsa dari yang berbutir halus hingga kasar dengan ketebalan lapisan yang cukup tebal. Selain itu juga ditemui satuan perselingan antara batupasir kuarsa dengan lempung serta batupasir dengan batu lempung.

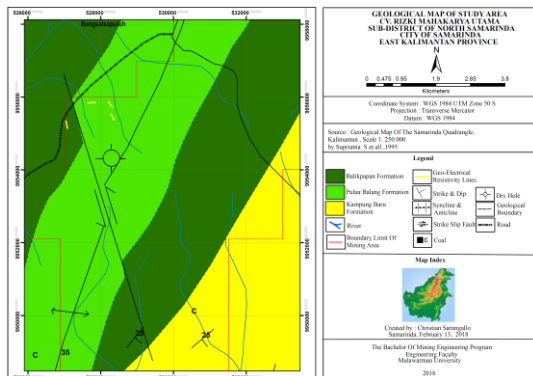
Sementara itu struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian diidentifikasi berdasarkan pengamatan langsung di lapangan. Struktur geologi yang di jumpai berupa lipatan serta patahan.

b. Formasi Balikpapan (Tm_{bp})

Formasi Balikpapan (Tm_{bp}) memiliki jenis batuan (litologi) berupa perselingan batupasir dan

batulempung sisipan batulanau, serpih, batugamping dan batubara. Batupasir kuarsa berwarna putih-kekuningan, berketebalan 1 - 3 m, disisipi lapisan batubara, berketebalan 5 - 10 cm. Batupasir gampingan berwarna coklat, berstruktur sedimen lapisan bersusun dan silang siur, memiliki tebal lapisan 20 - 40 cm, mengandung foraminifera kecil disisipi lapisan tipis karbon. Batulempung berwarna kelabu-kehitaman, mengandung sisa tumbuhan, oksida besi yang mengisi rekahan-rekahan, setempat mengandung lensa-lensa batupasir gampingan. Batulanau gampingan, berlapis tipis, serpih berwarna kecoklatan, berlapis tipis. Batugamping pasir mengandung foraminifera besar, moluska, menunjukkan umur Miosen Akhir bagian bawah – Miosen Tengah bagian atas, tebal formasi ini 1000 - 1500 m. Formasi ini terbentuk dalam lingkungan pengendapan delta atau litoral hingga laut dangkal terbuka.

Daerah penelitian yang berada pada Formasi Balikpapan (Tmbp) sangat kecil dan berdasarkan hasil survey geolistrik formasi terdiri dari batupasir lempung serta lanau.



Gambar 1. Peta Geologi Daerah Penelitian

Geomorfologi Daerah penelitian

Proses geomorfologi dalam kurun waktu tertentu mengakibatkan bentuklahan (*landform*) pada permukaan bumi mempunyai relief yang khas. Menurut Verstapen (1983) dalam Hariani, dkk. (2013) ada beberapa faktor yang menentukan bentuklahan yaitu kesan topografi dan relief, struktur batuan dan proses pembentukan batuan. Berdasarkan asal-usulnya atau genesisnya, maka daerah penelitian dikelompokkan kedalam dua bentuklahan yaitu bentuklahan asal structural dan proses fluvial. Peta geomorfologi daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

a. Bentuklahan Asal Proses Struktural

Bentukan asal proses struktural yang ada pada daerah penelitian berupa dataran struktural serta perbukitan struktural yang menempati sebagian besar dari daerah penelitian. Pada daerah

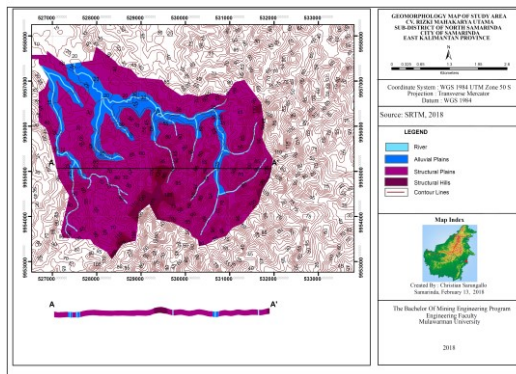
perbukitan struktural ini disusun oleh antiklin dan sinklin, dengan arah sumbu lipatan cenderung ke arah timur baratdaya – timur laut. Satuan bentuklahan ini menempati sebagian besar dari daerah penelitian. Litologi penyusun bentuklahan struktural ini berupa pasir kuarsa, batu lempung, lanau dan lapisan tipis batubara. Ketahanan lapisan batuan pada daerah penelitian terhadap erosi dan pelapukan bervariasi dari sedang hingga lemah. Satuan bentuklahan struktural ini dipengaruhi oleh tenaga endogen yang bekerja baik secara horizontal maupun vertical yang menyebabkan terbentuknya lipatan dan patahan. Lipatan akan terbentuk apabila tenaga endogen yang bekerja tidak melebihi daya elastisitas material terhadap tekanan. Sedangkan patahan terbentuk apabila tenaga endogen yang bekerja melebihi besarnya daya elastisitas material.

b. Bentuklahan Asal Proses Fluvial

Bentuklahan asal proses fluvial terjadi karena adanya proses aliran air. Proses aliran air tersebut dapat berupa aliran yang terkonsentrasi berupa aliran sungai maupun yang tidak terkonsentrasi berupa limpasan permukaan. Satuan bentuk lahan ini menempati daerah barat dari daerah penelitian serta membentuk sungai yang memanjang dari timur ke barat. Material penyusun bentuklahan ini sebagian besar bersal dari batuan asal yang terombak maupun mengalami pelapukan kemudian terjadi proses erosi kemudian tertransportasi dan tersedimentasi.

Berdasarkan analisis terhadap kondisi geologi dan geomorfologi daerah penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa tipologi sistem akuifer di lokasi penelitian merupakan tipologi sistem akuifer sedimen berlipat. Hal ini ditunjukkan oleh batuan penyusun daerah penelitian yang terdiri dari lapisan batupasir, batulanau dan batulempung berada pada daerah berlipatan.

Potensi airtanah di daerah ini, umumnya kecil mengingat batuan penyusunnya berupa lempung yang bersifat kedap air serta batupasir yang sangat kompak karena berumur tua dan telah mengalami proses tektonik kuat, sehingga sedikit kemungkinan lapisan batupasir tua ini dapat bertindak sebagai akuifer yang baik.



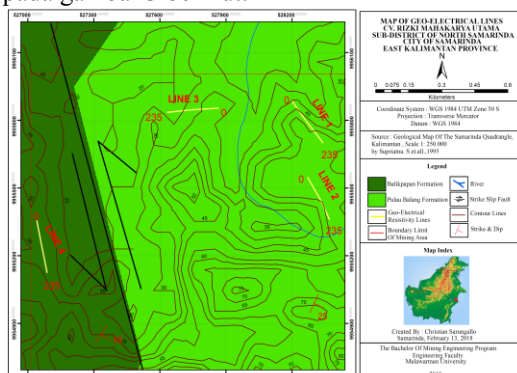
Gambar 2. Peta Geomorfologi Daerah Penelitian

Resistivity (tahanan jenis) Batuan

Salah satu sifat atau karakteristik batuan adalah resistivitas (tahanan jenis) yang menunjukkan kemampuan material tersebut untuk menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas suatu material maka semakin sulit bahan tersebut menghantarkan arus listrik (suyardi, dkk, 2015).

Sebagian besar batuan merupakan konduktor yang buruk dan memiliki resistivitas yang sangat tinggi. Namun pada kenyataannya batuan biasanya bersifat porous dan memiliki pori-pori yang terisi oleh fluida, terutama dengan air. Resistivitas batuan bergantung pada volume dan susunan pori-porinya. Resistivitas akan semakin besar jika kandungan air dalam batuan berkurang. Dengan adanya nilai resistivitas ini maka akuifer pada daerah yang dilakukan pengukuran dapat diidentifikasi (Telford, 1990).

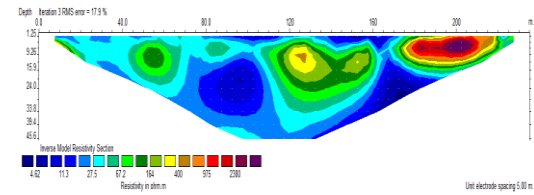
Pengukuran dilakukan dengan memasang 4 lintasan (*line*) pada daerah penelitian untuk mengetahui nilai resistivitas material pada daerah tersebut. Sebaran lintasan geolistrik dapat dilihat pada gambar 3 berikut:



Gambar 3. Peta Lintasan Geolistrik

Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan maka diperoleh hasil pencitraan penampang dua dimensi (2D) pada 4 *line* (lintasan) dengan panjang setiap *line* 235 meter dan spasi elektroda 5 meter sebagai berikut:

a. *Line 1*



Gambar 4. Penampang Geolistrik

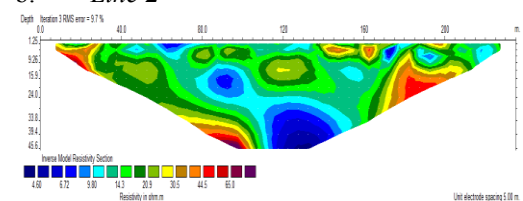
Berdasarkan nilai resistivitasnya, maka didapatkan interpretasi untuk nilai hasil pengolahan dari program *Res2dinv* pada *line 1* sebagai berikut:

Tabel 1. Nilai resistivitas dan jenis material *Line 1* di lokasi penelitian

No	Lapisan	Nilai Resistivitas (Ωm)	Jenis Lapisan
1.		4,5 - 11,0	Lempung
2.		26,8 - 65,6	Lanau
3.		160 - 2.340	Pasir

Berdasarkan hasil pencitraan penampang dua dimensi (2D) dan interpretasi di atas maka lapisan dengan resistivitas 160 Ωm – 392 Ωm yang ditandai dengan warna hijau tua serta hijau tua hingga warna cokelat diduga sebagai lapisan akuifer semi tertekan karena dibatasi oleh lapisan akuiklude pada lapisan atas berupa lanau dan akuiklude pada lapisan bawah berupa lempung, dengan nilai resistivitas berturut-turut 26,8 Ωm – 65,6 Ωm dan 4,5 Ωm – 11,0 Ωm yang ditandai dengan *range* warna seperti pada tabel. Sementara itu lapisan dengan resistivitas 160 Ωm – 2.340 Ωm yang tersingkap hingga ke permukaan diduga sebagai lapisan batupasir yang cukup keras dengan porositas yang buruk ditandai dengan nilai resistivitasnya yang cukup tinggi.

b. *Line 2*



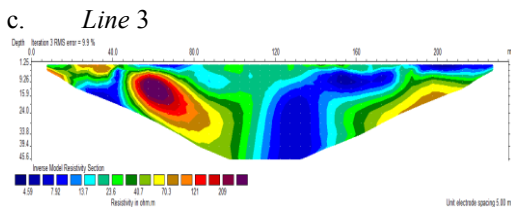
Gambar 5. Penampang Geolistrik

Berdasarkan nilai resistivitasnya, maka didapatkan interpretasi untuk nilai hasil pengolahan dari program *Res2dinv* pada *line 2* sebagai berikut:

Tabel 2. Nilai resistivitas dan jenis material *Line* 2 di lokasi penelitian

No.	Lapisan	Nilai Resistivitas (Ω m)	Jenis Lapisan
1.		4,71 - 14,8	Lempung
2.		21,6 - 46,2	Lanau
3.		67,6	Pasir

Dari hasil pencitraan dan interpretasi di atas disimpulkan bahwa lapisan dengan resistivitas 67,6 Ω m diduga sebagai lapisan batupasir yang merupakan akuifer semi tertekan karena lapisan dengan nilai resistivitas yang ditandai dengan warna merah tua hingga ungu ini berada pada lapisan aquitar berupa lanau dan akuiklud berupa lempung dengan nilai resistivitas berturut – turut 21,6 Ω m – 46,2 Ω m dan 4,71 Ω m – 14,8 Ω m.

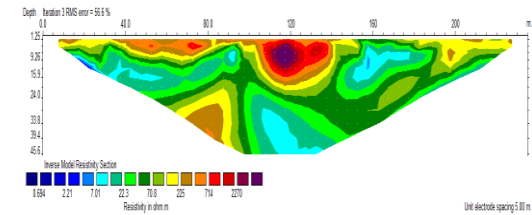
**Gambar 6.** Penampang Geolistrik

Berdasarkan nilai resistivitasnya, maka didapatkan interpretasi untuk nilai hasil pengolahan dari program *Res2dinv* pada *line* 3 sebagai berikut:

Tabel 3. Nilai resistivitas dan jenis material *Line* 3 di lokasi penelitian

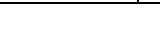
No.	Lapisan	Nilai Resistivitas (Ω m)	Jenis Lapisan
1.		4,59 - 13,7	Lempung
2.		23,6 – 40,6	Lanau
3.		70,1 – 209	Pasir

Hasil pencitraan penampang dua dimensi (2D) dan interpretasi menunjukkan bahwa lapisan dengan nilai resistivitas 70,1 Ω m - 160 Ω m yang berada pada lapisan akutar berupa lanau dan akuiklud berupa lempung, diduga merupakan akuifer semi tertekan berupa lapisan batupasir, sementara lapisan batuan dengan nilai resistivitas >160 Ω m dianggap batuan cukup keras dengan porositas yang buruk sehingga sulit untuk mengalirkan airtanah.

d. *Line* 4**Gambar 7.** Penampang Geolistrik

Berdasarkan nilai resistivitasnya, maka didapatkan interpretasi untuk nilai hasil pengolahan dari program *Res2dinv* pada *line* 4 sebagai berikut:

Tabel 4. Nilai resistivitas dan jenis material *Line* 4 di lokasi penelitian

No.	Lapisan	Nilai Resistivitas (Ω)	Jenis Lapisan
1.		0,695 – 2,22	Groundwater
2.		7,11 – 22,7	Lempung
3.		72,7	Lanau
4.		232 – 2.375	Pasir

Pencitraan penampang dua dimensi (2D) serta hasil interpretasi menunjukkan bahwa permukaan pada *line* 4 merupakan batupasir dengan nilai resistivitas berkisar dari 231 Ω m – 2.375 Ω m. Sementara lapisan batupasir dengan nilai resistivitas 232 Ω m - 743 Ω m diduga sebagai akuifer tertekan karena berada pada lapisan impermeabel berupa lanau dan lempung dengan nilai resistivitas berturut – turut 72,7 Ω m dan 7,11 Ω m – 22,7 Ω m. Pada *line* 4 ini juga ditemukan lapisan dengan nilai resistivitas yang rendah yaitu 0,695 Ω m – 2,22 Ω m yang diduga sebagai lapisan airtanah yang tertekan.

Hidrologi

Menurut Brooks et.al (2013), Sirkulasi air di bumi disebut siklus hidrologi, yang melibatkan proses dan perjalanan dimana air menguap (*evaporate*) dari permukaan bumi ke atmosfer dan kembali lagi ke permukaan dengan terjadinya presipitasi dan kondensasi. Sekitar 70% bumi terdiri dari air, sehingga hampir seluruh air yang ada di atmosfer berasal dari lautan dan kumpulan air lainnya di bumi. Namun ada pengecualian untuk proses presipitasi yang tidak sampai ke samudra, aliran sungai (*streamflow*) maupun aliran airtanah melainkan langsung terevaporasi kembali ke atmosfer.

Pada penelitian ini, aspek hidrologi yang berpengaruh berupa kondisi daerah tangkapan hujan, curah hujan serta iklim. Aspek hidrologi berperan penting dalam penentuan kualitas air permukaan dan airtanah serta juga memiliki pengaruh besar pada aktivitas penambangan di

daerah penelitian. Aspek hidrologi berupa curah hujan dan temperatur udara digunakan dalam menentukan besarnya debit limpasan, evapotranspirasi dan debit airtanah di daerah target penelitian.

Intensitas Curah Hujan

Jumlah hujan yang jatuh di permukaan bumi dinyatakan dalam kedalaman air (biasanya mm), yang dianggap terdistribusi secara merata pada seluruh daerah tangkapan air. Intensitas hujan adalah jumlah curah hujan dalam satuan waktu, yang biasanya dinyatakan dalam mm/jam, mm/hari, mm/minggu, mm/bulan, mm/tahun, dan sebagainya.

Terdapat beberapa pengertian tentang curah hujan. Curah hujan harian rata-rata adalah jumlah curah hujan dalam satu bulan dibagi dengan banyaknya hari hujan dalam satu bulan. Curah hujan bulanan rata-rata adalah jumlah curah hujan dalam satu tahun dibagi 12. Curah hujan tahunan adalah jumlah curah hujan per bulan dalam tahun tertentu. Curah hujan merupakan faktor utama yang berpengaruh pada daerah penelitian. Penentuan intensitas curah hujan dilakukan dengan pengambilan data dari nilai curah hujan bulanan dibagi dengan jumlah hari hujan rata-rata pada bulan tersebut. Jumlah data curah hujan yang akan dipakai dalam analisis intensitas curah hujan adalah 120 buah data. Berdasarkan data tersebut maka dapat disimpulkan bahwa besarnya curah hujan bulana pada daerah penelitian sebesar 254,475mm/bulan dan tahunan sebesar 3.053,70 mm/tahun.

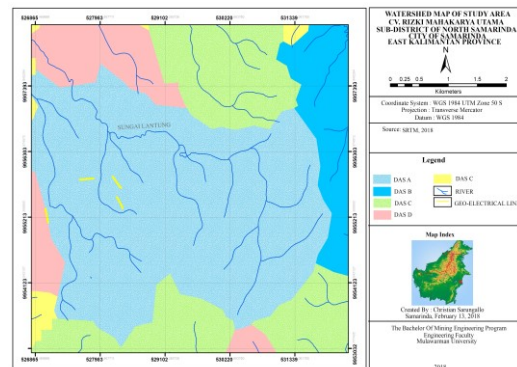
Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah aliran sungai (Das) adalah daerah yang dibatasi punggung-punggungan gunung/pegunungan dimana air hujan yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju sungai utama. Dalam penentuan DAS digunakan data *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) yaitu database bumi dalam bentuk topografi digital yang memiliki resolusi tinggi yang paling lengkap (Triatmodjo,2008).

Dalam penentuan DAS kita ketahui bahwa pada dasarnya limpasan berasal dari titik-titik tertinggi dan bergerak menuju titik-titik yang lebih rendah dalam arah tegak lurus dengan garis-garis kotur. Daerah yang dibatasi oleh garis yang menghubungkan titik-titik tertinggi tersebut adalah DAS. Peta Daerah Aliran Sungai daerah penelitian dapat dilihat pada gambar 8. DAS pada daerah penelitian memiliki luas 16,59 km². Luasan DAS ini digunakan sebagai parameter dalam perhitungan imbuhan airtanah.

Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah peristiwa penguapan dari suatu daerah aliran sungai sebagai akibat pertumbuhan tanaman. Selain itu, peristiwa evapotranspirasi dapat terjadi apabila di daratan tersedia cukup air atau disebut sebagai evapotranspirasi potensial. Evapotranspirasi dipengaruhi oleh besarnya curah hujan dan temperatur udara rata-rata tahunan di daerah target penelitian.



Gambar 8. Peta Daerah Aliran Sungai (DAS) Daerah Penelitian

Besarnya evapotranspirasi berbanding lurus dengan temperature udara. Semakin besar temperature udara maka evapotranspirasi akan semakin besar sehingga jumlah imbuhan airtanah semakin kecil. Besarnya nilai evapotranspirasi dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan Evapotranspirasi

Curah hujan (mm/tahun)	(P)	3.053,70
Temperatur udara rata-rata (°C)	(Tm)	28,32
Evapotranspirasi (mm/tahun)	(Evp)	1.784,21

Hasil perhitungan evapotranspirasi pada kondisi aktual adalah sebesar 1.784,21 mm/tahun. Evapotranspirasi pada kondisi aktual daerah penelitian dipengaruhi oleh besarnya curah hujan dan temperatur udara rata-rata.

Surface Run-off

Air permukaan adalah semua air yang terdapat pada permukaan tanah sedangkan air permukaan yang mengalir disebut dengan aliran permukaan. Bagian yang terpenting dari *surface run-off* adalah besarnya debit puncak (*peak flow*) dan waktu tercapainya debit puncak, volume, dan penyebaran *surface run-off* (Kodoatie, 2012).

Parameter yang mempengaruhi besarnya penyebaran limpasan permukaan adalah curah hujan, serta retensi potensial maksimum yang diperoleh dari hasil perhitungan dengan parameter nilai bilangan kurva (BK) pada tata guna lahan daerah penelitian yang dapat dilihat

pada lampiran III.2. Hasil perhitungan *surface run off* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan *surface runoff*

Curah hujan (mm/tahun)	(P)	3.053,70
Luas daerah aliran sungai (km ²)	(A)	16,59
Temperatur udara rata-rata (°C)	(Tm)	28,32
<i>Run off</i> (mm/tahun)	(Ro)	913,51

Besarnya nilai evapotranspirasi ini akan mempengaruhi jumlah penambahan air ke dalam zona akuifer yang selanjutnya disebut dengan imbuhan airtanah. Semakin besar nilai *surface run-off* maka semakin kecil nilai imbuhan airtanah.

Imbuhan Airtanah

Dalam sistem Hidrogeologi, air selalu mengalami proses daur ulang yang disebut siklus hidrogeologi. Dalam siklus tersebut, air akan selalu melalui sistem akuifer yang disebut sebagai proses imbuhan, yaitu penambahan air ke dalam zona akuifer. Besarnya jumlah penambahan air ke dalam zona akuifer dapat dihitung berdasarkan jumlah dari beberapa parameter hidrologi diantaranya curah hujan, evapotranspirasi, dan *surface run off*. Hasil perhitungan imbuhan airtanah dapat dilihat pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Perhitungan imbuhan airtanah

Curah hujan (mm/tahun)	3.053,70
Evapotranspirasi (mm/tahun)	1.784,21
<i>Surface runoff</i> (mm/tahun)	913,51
Imbuhan airtanah (mm/tahun)	355,98

Dari hasil perhitungan jumlah curah hujan, *surface runoff* dan evapotranspirasi, maka dapat disimpulkan bahwa besarnya potensi imbuhan airtanah di daerah penelitian sebesar 355,98 mm/tahun.

Hidrogeologi

Menurut Irawan dan Puradimaja (2015), hidrogeologi merupakan ilmu yang mempelajari keterdapatan, sifat fisik hidraulik dan perilaku airtanah (zona) jenuh. Hidrogeologi merupakan gabungan dari *body of knowledge* dari kedua cabang ilmu, yaitu ilmu geologi dan ilmu hidrologi

Aspek hidrogeologi yang dibahas dalam penelitian ini yaitu akuifer serta airtanah yang dianalisis berdasarkan hasil survey geolistrik di lapangan. Penelitian mengenai kondisi hidrogeologi bertujuan untuk mengetahui karakteristik serta jenis akuifer di daerah penelitian dan untuk mengetahui besarnya imbuhan airtanah.

Jenis Aquifer

Analisis karakteristik akuifer pada penelitian ini mengacu pada nilai resistivitas batuan yang diperoleh berdasarkan survey geolistrik pada daerah penelitian. Dengan adanya nilai resistivitas ini maka akuifer pada daerah yang dilakukan pengukuran dapat diidentifikasi dengan mengacu pada konsep bahwa batuan biasanya bersifat porous dan memiliki pori-pori yang terisi oleh fluida, terutama air dimana resistivitas akan semakin besar jika kandungan air dalam batuan berkurang.

Pada penelitian ini diperoleh rentang nilai resistivitas setiap batuan yang bervariasi. Nilai resistivitas batuan $\leq 20 \Omega m$ dianggap sebagai batuan dengan resistivitas rendah yang diduga sebagai akuiklud yaitu batuan yang dapat menyimpan air tetapi tidak dapat mengalirkannya. Batuan dengan nilai resistivitas $20 \Omega m - 160 \Omega m$ dianggap sebagai batuan dengan resistivitas menengah dan diperkirakan dapat berfungsi sebagai aquitard yaitu lanau & akuifer berupa batupasir serta porositas batuan pada rentang nilai resistivitas tersebut dianggap baik.

Nilai resistivitas batuan $>160 \Omega m$ dianggap sebagai batuan dengan nilai resistivitas yang tinggi dan dianggap sebagai batuan keras dan sulit untuk menyimpan air diantara pori batuan. Rentang nilai resistivitas batuan berdasarkan hasil interpretasi pada 4 *line* pengukuran di lapangan dari resistivitas terendah ke tertinggi yaitu lempung sebesar $4,5 \Omega m - 22,7 \Omega m$; lanau sebesar $21,6 \Omega m - 72,7 \Omega m$; dan batu pasir sebesar $67,5 \Omega m - 2375 \Omega m$. Dengan pertimbangan rentang nilai resistivitas lapisan batuan serta hubungannya dengan pori batuan maka lapisan batuan pada lokasi penelitian dapat dikategorikan sebagai berikut:

Pada penelitian ini jenis akuifer dianalisis berdasarkan hasil pencitraan penampang dua dimensi (2D) dari lapisan pada daerah penelitian melalui survei geolistrik. Berdasarkan data yang diperoleh, mayoritas sebaran penyusun akuifer di daerah rencana penambangan didominasi oleh lapisan batu lempung, batu lanau, dan batupasir.

Berdasarkan hasil interpretasi dari pencitraan penampang dua dimensi (2D) dari 4 *line* yang diteliti menggunakan alat geolistrik maka dapat disimpulkan bahwa sebaran akuifer di daerah penelitian untuk *line* 1,2 dan 3 yang berada pada formasi Pulau balang adalah jenis akuifer semi tertekan. Akuifer semi tertekan merupakan akuifer jenuh yang dibatasi oleh lapisan atas berupa akuitar dan lapisan bawahnya merupakan akuiklud. Pada lapisan pembatas, di bagian atasnya karena bersifat akuitar maka masih ada air yang mengalir ke lapisan tersebut. Akuifer semi

tertekan terisi oleh airtanah dan tidak mempunyai muka airtanah yang bersifat bebas. Sementara daerah untuk *line* 4 yang berada pada formasi Balikpapan ditemukan jenis akuifer berupa akuifer tertekan yaitu akuifer yang dibatasi oleh lapisan akuiklude baik pada lapisan atasnya maupun bawahnya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil interpretasi dari pencitraan penampang dua dimensi (2D) dari 4 *line* dengan geolistrik disimpulkan, bahwa sebaran akuifer di daerah penelitian untuk *line* 1,2 dan 3 yang berada pada formasi Pulau balang adalah jenis akuifer semi tertekan. Untuk *line* 4 yang berada pada formasi Balikpapan ditemukan jenis akuifer berupa akuifer tertekan. Sementara itu, berdasarkan analisis terhadap kondisi geologi dan geomorfologi daerah penelitian, disimpulkan tipologi sistem akuifer di lokasi penelitian merupakan tipologi sistem akuifer sedimen berlipat.

Imbuhan airtanah di daerah penelitian sebesar 355,98 mm/tahun dengan rincian rata-rata curah hujan tahunan 3.053,70 mm/tahun, evapotranspirasi sebesar 1.784,21 mm/tahun dan *surface run-off* sebesar

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Cv. Rizky Maha Karya Utama yang telah memberikan kesempatan pada penulis untuk melakukan Penelitian, serta kepada Bapak Dr. Shalah Dina Devy, S.T.,M.Eng dan Bapak Koesyadi Sasmito, S.T., M.T atas bimbingannya.

Daftar Pustaka

- Brooks, Kenneth N., et.all. 2013. *Hydrology and The Management of Watersheds, 4th Edition*. Malaysia: Willy-Blackwell
- Devy, S.D., 2018, April. *Hydrogeology of Karang Mumus Watershed in Samarinda, East Kalimantan Province, Indonesia*. In Forum Geografi (Vol. 32, No. 1).
- Glass, Gene V. 1997. *Interrupted Time Series Quasi-experiments*. Washington D.C.: American Education Research Association
- Hariani, dkk. 2013. *Kompetensi Dasar Olimpiade Sains Nasional Geografi*. Yogyakarta: Gadjadara University Press
- Muhammad, 2016. *Potensi Airtanah Berdasarkan Nilai Resistivitas Batuan di Kelurahan Cangkorah, Kecamatan Batujajar, Kabupaten Bandung Barat, Vol.14*. hlm 150
- Puradimaja, Deny J dan Irawan, Erwin D. 2015. *Hidrogeologi Umum*. Yogyakarta: Penerbit Ombak

Shadis, William R. 2002. *Experimental and Quasi-experimental Desing for Generalizes Casual Inference*. Boston & Newyork: Houghton Mifflin Company

Supriatna, S, 1995. *Peta Geologi Lembar Samarinda, Kalimantan, skala 1: 250.000*. Puslitbang Geologi Bandung.

Suryadi, 2015. *Jurnal: Identifikasi Struktur Perlapisan Bawah Permukaan dan Sebaran Temperatur Daerah Panas Bumi Desa Matikole, Vol 14*. Palu: Universitas Tadulako. Hlm 29

Telford et al. 1990. *Applied Geophysic*. London: Cambridge University Press.

Triatmodjo, Bambang., 2008. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset