

**MODEL HIDROGEOLOGI PASKA TAMBANG DAERAH
PENAMBANGAN BATUBARA
KEC. TABANG, KAB. KUTAI KARTANEGARA**

Oleh:
Ibnu Hasyim

Abstrak

Coal mining is a commodity that attracts many investors, with a large number of or abundant reserves in the area, so coal mining activities are very rife in the subdistrict Tabang, Regency Kutai Kartanegara, so that it will have both positive and negative impacts, positive impacts will certainly cause changes to improve socio-economic life, while negative impacts will cause problems related to the decrease in the quality and quantity of surface water and groundwater. The opening of land due to mining will greatly affect environmental changes such as changes in the landscape, lowering of the groundwater level, increased acidity of the soil/rock (soil becomes less fertile), chemical and physical properties, mine waste enters rivers, and causes soil damage. This condition has an impact on decreasing the quality and quantity of groundwater as a source of clean water. The purpose of this study is to determine the effect of mining on the hydrogeology of the research area, especially groundwater.

Hydrogeological analysis is very important, by carrying out a Pumping Test or Slugs from 5 (five) drilling points to be carried out, so that it is expected to be able to know groundwater modeling before and after post-mining, and here you will see a comparison of groundwater flow before and after mining. . So that the hope of this research can find out and understand the hydrogeological conditions of the research area, so that it will provide information on the impact of mining activities, and it will be easier, how to overcome or control related to areas which still have potential or not, which are related to the content/potential groundwater around the mining site.

Practical benefits can provide information to the public and the government about the potential content of groundwater around the research area and to know/predict the potential groundwater that can still be utilized. The stratigraphy of the study area is part of the Kutai Bacin. Lithology The formation of the study area (Balikpapan Formation) consists of alternating siltstone and claystone with sandstone with coal inserts and sandstone units. Where there are 5 (five) potential aquifers in the study area in terms of the amount/volume of groundwater, the groundwater in the study area must be monitored along with mining activities in the study area.

Keywords: *Modeling, groundwater, hydrogeology, post mining.*

1. Pendahuluan

Daerah penelitian secara administratif masuk ke dalam desa Buluqsen, Kec. Tabang, Kab. Kutai Kartanegara. Untuk mencapai daerah tersebut dari Samarinda yang berjarak 180 km dapat ditempuh dengan kendaraan roda dua maupun roda empat.

Daerah penelitian secara stratigrafi bagian dari Cekungan Kutai (*Kutai Basin*), dan daerah tersebut terlipat membentuk antiklin dan sinklin yang membelah daerah Kutailama dan sekitarnya, dengan arah sumbu lipatan relatif timurlaut – baratdaya (Supriatna & Abidin (1995)).

Kegiatan penambangan banyak dilakukan dengan sistem tambang terbuka, sehingga menyebabkan perubahan tatanan geologi, baik perubahan secara morfologi dan tataguna lahan, dengan terpotongnya perlapisan batuan maka akan terputusnya akuifer airtanah, sehingga akan mempengaruhi kondisi hidrogeologi. Dengan adanya kegiatan penambangan tersebut, maka akan berpengaruh sekali terhadap kondisi dan permodelan airtanah daerah penelitian tersebut.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah dengan cara pendekatan analisis dengan menghitung neraca air permukaan dan permodelan airtanah atau arah pola aliran airtanah berdasarkan pumping test hasil dari pemboran fullcoring.

Kajian hidrogeologis dengan melakukan pengukuran dilapangan, cara ini adalah untuk memahami kondisi hidrogeologi, sehingga potensi perubahan penyebaran airtanah paska tambang sangat nampak sekali jika dibanding dengan sebelum dilakukan penambangan.

Sampel batuan diperoleh dari pemboran *full coring* dengan kedalaman hingga 85 meter, kemudian dilakukan analisis lithologi untuk memperoleh kedudukan stratigrafi dari perlapisan batuan, batas satuan litologi, struktur, ketebalan, dan formasi batuan secara terperinci. Tujuan pengambilan sampel untuk mengetahui karakteristik dari akuifer daerah penelitian.

Metode analisis sampel batuan dan airtanah meliputi:

2.1. Neraca Air

2.1.1. Curah Hujan

Curah hujan daerah penelitian merupakan curah hujan yang pengukurannya dilakukan di suatu daerah tertentu (wilayah *regional*). Perlunya menghitung curah hujan adalah untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian dalam kajian area tangkapan hujan di wilayah tambang.

Data curah hujan yang tersedia untuk daerah kajian diperoleh dari Stasiun Meteorologi Kecamatan Tabang, Kabupaten Kutai Kartanegara. Dari hasil perhitungan berdasarkan data curah hujan harian dalam sepuluh tahun terakhir (2013–2022), diketahui rata rata curah hujan tahunan 2684 mm/tahun.

2.1.2. Suhu Udara

Data klimatologi pada daerah penelitian didapatkan dari Stasiun Meteorologi Kecamatan Tabang, Kabupaten Kutai Kartanegara. Dari hasil tersebut diperoleh informasi bahwa daerah penelitian dipengaruhi oleh iklim tropis dengan temperature bulanan antara 26⁰C hingga 28⁰C, dengan rata-rata temperatur di daerah penelitian adalah 27,4⁰C.

2.1.3. Evaporasi, Run Off dan Imbuhan Airtanah

Dengan menggunakan suhu rata-rata pada 10 tahun terakhir dan menggunakan persamaan diatas maka didapatkan nilai evapotraspirasi bulanan selama 10 tahun di daerah pemodelan

2.2. Hidrostratigrafi dan Pemodelan Airtanah

2.2.1. Konseptual Model

Pemodelan sistam airtanah pada area penelitian dibuat dengan menggunakan *software* Visual Modflow, pemodelan ini bertujuan untuk mengetahui kondisi dan arah aliran airtanah pada kondisi original sebelum penambangan dan pada kondisi *Life Of Mine* (LOM).

Pemodelan sistem airtanah di dilakukan berdasarkan dari hasil pengeboran batuan yang memberikan informasi jenis litologi dan kontur struktur batubara sebagai ekspresi atau bentuk dari masing-masing lapisan, sehingga didapatkan informasi ketebalan dan persebaran litologi, dari hasil sayatan ataupun model sayatan tersebut kemudian diterjemahkan dalam satuan lapisan Hidrostratigrafi, hasil pengeboran terdapat material berupa batupasir, batulempung, batulanau, dan batubara, dari informasi batuan tersebut dibuatlah susunan hidrostratigrafi berupa akuifer yang berasal dari material batupasir dan akuitar yang berasal dari material batulanau dan batubara dan akuiklud yang berasal dari batulempung.

2.2.2. Konseptual Model

Karakteristik akuifer pada dasarnya merupakan karakteristik alam yang diterjemahkan dalam bahasa hidrogeologi, beberapa jenis karakteristik akuifer diantaranya adalah muka airtanah, konduktivitas hidraulika dan keberadaan akuifer.

Pengukuran muka airtanah pada pada daerah penelitian dilakukan setelah pengeboran geoteknik maupun pengeboran hidrogeologi, pengukuran dilakukan dengan rentang waktu ± 2 hari setelah selesainya pengboran untuk mendapatkan kondisi airtanah yang *steady*

2.2.3. Parameter dan Keterbatasan Pemodelan

Dalam penggunaannya, model numerik memiliki beberapa batasan karena pemodelan merupakan bentuk sederhana dari natural system dari daerah kajian yang sangat kompleks sehingga tidak seluruhnya dapat diterjemahkan kedalam perangkat lunak. Untuk itu digunakan beberapa asumsi dan juga generalisasi untuk menjalankan pemodelan sesuai dengan konsep hidrogeologi hasil intepretasi. Parameter hidrolika adalah parameter yang penting dalam pemodelan numerik ini, salah satunya konduktivitas hidrolika. Penyebaran konduktivitas hidrolika akuifer pada model akan menentukan arah dan kecepatan aliran air tanah di dalam sistem akuifer. Setiap satuan litologi diasumsikan sifat material yang *homogenous* dan isotropis.

2.2.4. Pemodelan Airtanah

Pemodelan aliran air tanah digunakan dengan mengasumsikan aliran air dengan kondisi *steady-state* dimana kondisi konfigurasi muka air tanah di daerah model tidak mengalami perubahan terhadap waktu. Pada kajian ini menggunakan kondisi model *steady-state* yang nantinya bersamaan dengan kondisi batas akan mempengaruhi hasil arah aliran air. Batas-batas pemodelan yang dapat dijumpai

pada pemodelan ini adalah, *flow boundary* (batas ada aliran air tanah), data muka airtanah dan *river boundary* (sungai).

Simulasi pemodelan aliran air tanah pada masing-masing model dilakukan menggunakan dua skenario. Skenario pertama merupakan kondisi aktual dan skenario kedua merupakan kondisi produksi tambang hingga elevasi tertentu. Kedua skenario ini dibedakan berdasarkan topografi dan kondisi batas model.

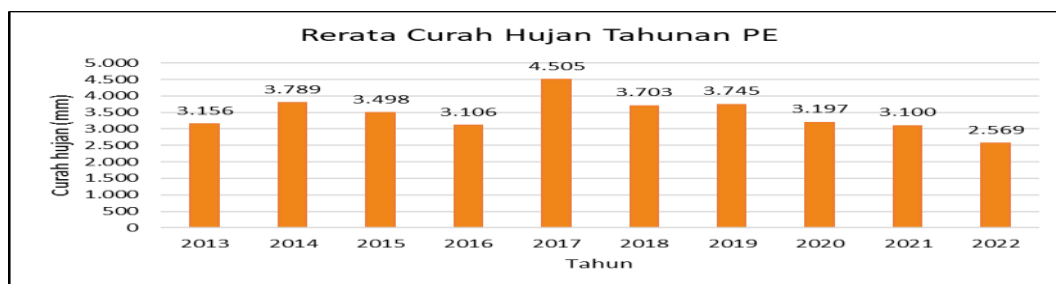
Dalam melakukan *running* pemodelan, dibutuhkan proses kalibrasi atau penyesuaian data sehingga model yang telah dibuat dapat menghasilkan muka air tanah yang paling sesuai dengan keadaan asli di alam (Boonstra & de Ridder, 1981). Kalibrasi pada pemodelan ini dilakukan sehingga dapat dilakukan *running* terhadap model. Proses kalibrasi yang dilakukan pada pemodelan ini yaitu merubah nilai konduktivitas hidrolika sesuai rentang batas.

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1. Hidrologi

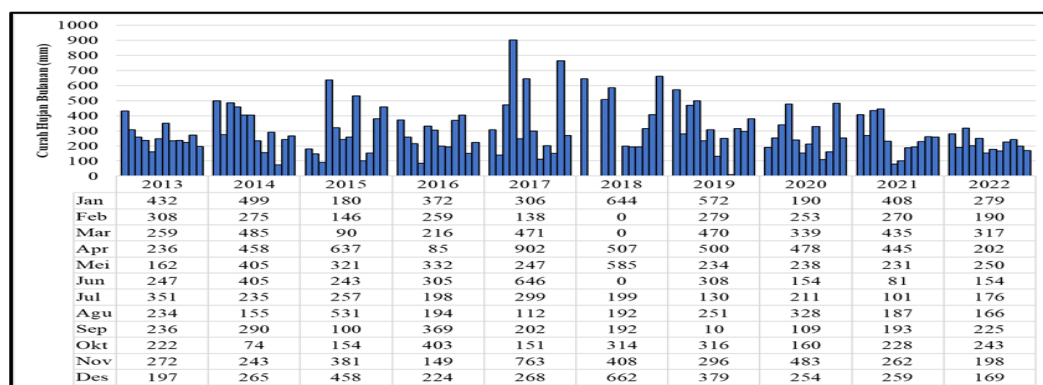
Beberapa faktor yang berpengaruh terhadap peranan kelangsungan siklus hidrologi, seperti, geologi, morfologi, kondisi tataguna lahan dan iklim. Kondisi hidrologi mempunyai peranan penting dan penentu dalam proses penghitungan imbunan airtanah dalam kuantitas dan kapasitas airtanah dan air permukaan (debit air permukaan). Kapasitas air permukaan sangat dipengaruhi oleh karakteristik kondisi DAS, tata guna lahan, daerah tangkapan hujan dan curah hujan daerah setempat.

Dari hasil perhitungan berdasarkan data curah hujan harian dalam sepuluh tahun terakhir (2013–2022), diketahui rata rata curah hujan tahunan 2684 mm/tahun. Dari data yang didapatkan, curah hujan tertinggi di wilayah kajian terjadi di tahun 2017, dengan jumlah curah hujan sebesar 4505 mm/tahun. Sedangkan curah hujan paling sedikit terjadi di tahun 2022, dengan jumlah curah hujan sebesar 2569 mm/tahun.



Source: Stasiun Meteorologi Kecamatan Tabang, Kabupaten Kutai Kartanegara
Gambar 01. Curah Hujan Tahunan 2013-2022 Kec. Tabang, Kabupaten Kutai Kartanegara

JGP (Jurnal Geologi Pertambangan)



Source: Stasiun Meteorologi Kecamatan Tabang, Kabupaten Kutai Kartanegara.

Gambar 02. Grafik curah hujan tahunan Kecamatan Tabang, Kabupaten Kutai Kartanegara

Dari hasil tersebut diperoleh informasi bahwa daerah penelitian dipengaruhi oleh iklim tropis dengan temperature bulanan antara 26^oC hingga 28^oC, dengan rata-rata temperatur di daerah penelitian adalah 27,4 ^oC.

Tabel 01. Data Suhu Udara Kec. Tabang Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur dalam ^oC.

| Tahun | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2013 | 26.8 | 26.3 | 27.2 | 27.1 | 27.2 | 27.3 | 26.4 | 27.3 | 26.9 | 27.5 | 27.2 | 27.0 |
| 2014 | 26.6 | 26.8 | 27.1 | 27.2 | 27.6 | 27.5 | 27.3 | 27.1 | 27.9 | 28.1 | 27.6 | 26.7 |
| 2015 | 26.5 | 26.4 | 27.3 | 27.4 | 27.7 | 27.0 | 27.7 | 27.6 | 27.4 | 27.6 | 27.7 | 27.6 |
| 2016 | 27.8 | 27.5 | 27.9 | 28.0 | 28.2 | 27.4 | 27.3 | 27.6 | 27.3 | 27.3 | 27.4 | 27.0 |
| 2017 | 27.8 | 27.4 | 27.8 | 28.0 | 27.9 | 27.7 | 27.7 | 27.5 | 27.2 | 27.8 | 27.0 | 27.7 |
| 2018 | 27.5 | 26.9 | 28.0 | 28.4 | 28.2 | 28.0 | 27.5 | 27.5 | 28.4 | 28.5 | 28.2 | 28.0 |
| 2019 | 27.1 | 27.5 | 26.8 | 27.8 | 28.1 | 27.1 | 27.8 | 27.7 | 27.6 | 28.1 | 28.0 | 27.5 |
| 2020 | 27.6 | 27.9 | 27.8 | 27.9 | 28.0 | 27.6 | 27.3 | 27.7 | 27.3 | 27.3 | 27.6 | 27.0 |
| 2021 | 26.5 | 27.0 | 27.0 | 27.2 | 27.6 | 27.5 | 27.0 | 26.8 | 26.9 | 27.2 | 26.8 | 27.0 |
| 2022 | 26.7 | 26.6 | 27.1 | 27.4 | 27.4 | 27.3 | 27.3 | 27.4 | 27.4 | 27.3 | 27.3 | 27.1 |

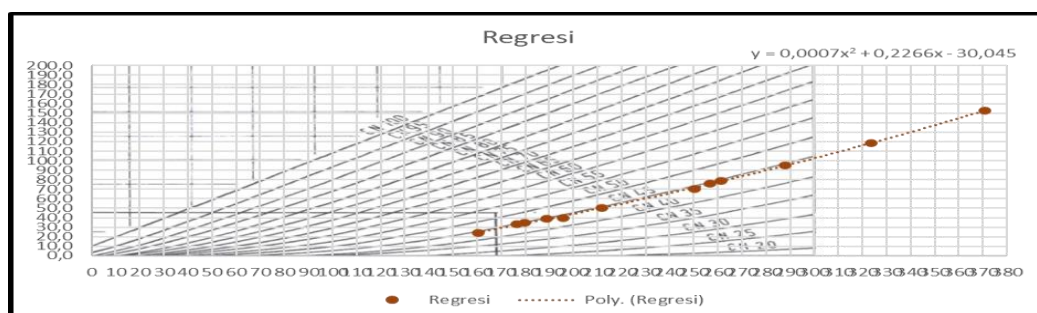
Source: Stasiun Meteorologi Kecamatan Tabang, Kabupaten Kutai Kartanegara

Dengan menggunakan suhu rata-rata pada 10 tahun terakhir dan menggunakan persamaan diatas maka didapatkan nilai evapotraspirasi bulanan selama 10 tahun di daerah pemodelan terdapat pada Tabel 02.

Tabel 02. Evapotraspirasi Bulanan daerah pemodelan

| Bulan | ETp |
|-----------|-----|
| Januari | 150 |
| Februari | 145 |
| Maret | 152 |
| April | 159 |
| Mei | 150 |
| Juni | 152 |
| Juli | 154 |
| Agustus | 152 |
| September | 141 |
| Oktober | 145 |
| November | 141 |
| Desember | 143 |

Dalam perhitungan runoff pada pemodelan ini menggunakan nilai yang didapatkan dengan metode Soil Conservation Service (1946) yang didapatkan berdasarkan hasil regresi polynomial berdasarkan plot diagram Hudson (1993) (Gambar 03).



Gambar 03. Grafik Hubungan Presipitasi, curve number dan runoff (Hudson, 1993)

Dari hubungan nilai presipitasi, curve number dan runoff maka diperoleh nilai runoff sebesar 813 mm/tahun.

Imbuhan airtanah (recharge) berasal dari air hujan, saluran irigasi, serta aliran sungai. Besarnya laju imbuhan dipengaruhi oleh jumlah curah hujan, kadar air dalam tanah, gradien hidrolika dan adanya perubahan terhadap kondisi bawah permukaan, seperti adanya pembuatan saluran drainase, sistem pemompaan dan perpipaian. Besaran nilai imbuhan airtanah diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$I = S - R_o$$

Keterangan:

I = Imbuhan Airtanah (mm/tahunan)

S = Moisture Surplus (mm/tahun)

R_o = Runoff (Air Limpasan) (mm/tahun)

Dengan menggunakan persamaan tersebut untuk mensubstitusikan nilai surplus sebesar 1078 mm, dan nilai air limpasan sebesar 813 mm/tahun, maka besar imbuhan air tanah di daerah kajian sebesar 265 mm/tahun.

3.2. Hidrogeologi

Kondisi hidrogeologi sangat dipengaruhi oleh lithologi batuan daerah penelitian, seperti karakteristik akuifer perlapisan batuan dan ketersediaan sumber air. Berdasarkan dari klasifikasi Mandel dan Shiftan (1981), dan oleh Irawan dan Puradimadja (2013), disesuaikan dengan tipologi geomorfologi dan geologi indonesia, maka daerah penelitian termasuk dalam tipologi sistem akuifer batuan sedimen terlipat. Sedimen terlipat merupakan lapisan sedimen yang dipengaruhi struktur perlipatan, seperti struktur antiklin didaerah penelitian yang membujur dari arah relatif baratdaya–timurlaut. Berdasarkan pembagian satuan litostratigrafi dan stratigrafi, bahwa unit hidrostratigrafi daerah penelitian bagian dari Unit Hidrogeologi Sistem Akuifer Batuan Sedimen Terlipat.

3.2.1. Konseptual Model

Pemodelan sistem airtanah di daerah penelitian dilakukan berdasarkan dari hasil pengeboran batuan yang memberikan informasi jenis litologi dan kontur struktur batubara sebagai ekspresi atau bentuk dari masing-masing lapisan, sehingga didapatkan informasi ketebalan dan persebaran litologi, dari hasil sayatan ataupun model sayatan tersebut kemudian diterjemahkan dalam satuan lapisan Hidrostratigrafi, hasil pengeboran terdapat material berupa batupasir, batulempung, batulanau, dan batubara, dari informasi batuan tersebut dibuatlah

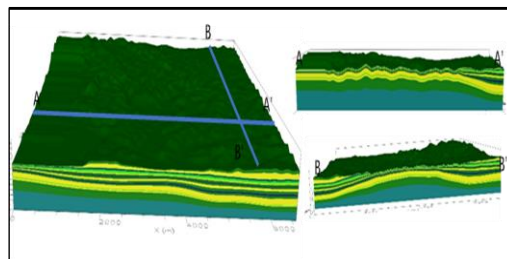
JGP (Jurnal Geologi Pertambangan)

susunan hidrostratigrafi berupa akuifer yang berasal dari material batupasir dan akuitar yang berasal dari material batulanau dan batubara dan akuiklud yang berasal dari batulempung.

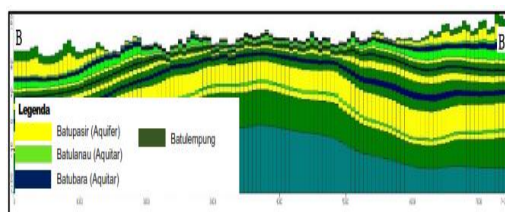
Pemodelan ini disusun dengan 17 layer yang terdiri dari :

1. Lapisan batulempung
2. Lapisan batupasir
3. Lapisan batulanau
4. Lapisan batubara
5. Lapisan batulanau
6. Lapisan batupasir
7. Lapisan batulempung
8. Lapisan batubara
9. Lapisan batulempung

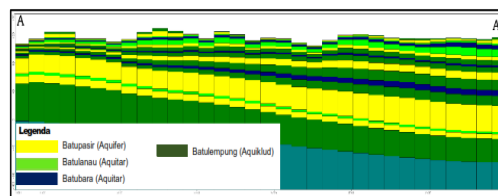
10. Lapisan batupasir
11. Lapisan batulempung
12. Lapisan batubara
13. Lapisan batulempung
14. Lapisan batupasir
15. Lapisan batulanau
16. Lapisan batupasir
17. Lapisan batulempung



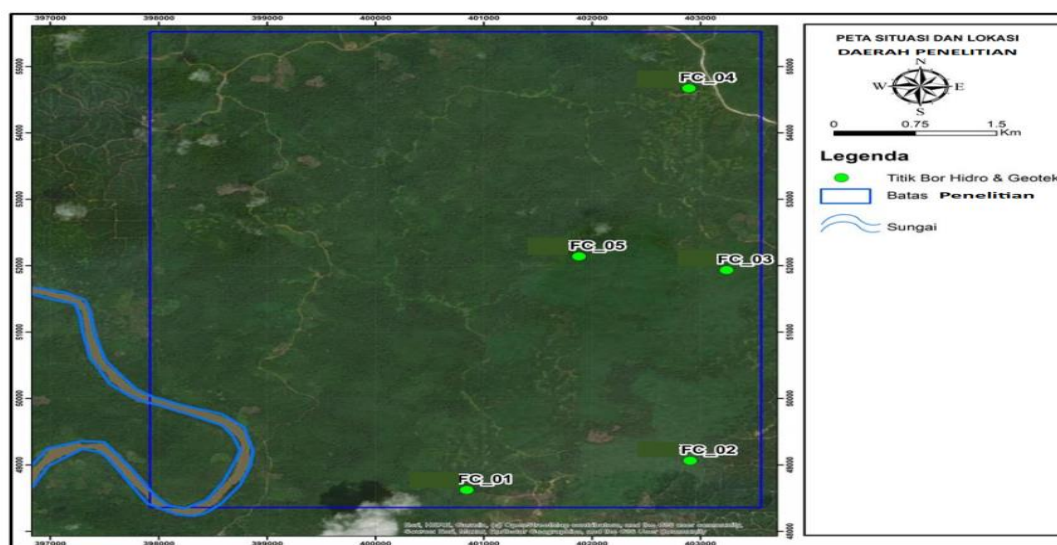
Gambar 04. Model 3D Daerah Penambangan



Gambar 05. Sayatan B-B' .



Gambar 06 Sayatan A-A' .



Gambar 07 Peta Situasi dan Lokasi Daerah Penelitian.

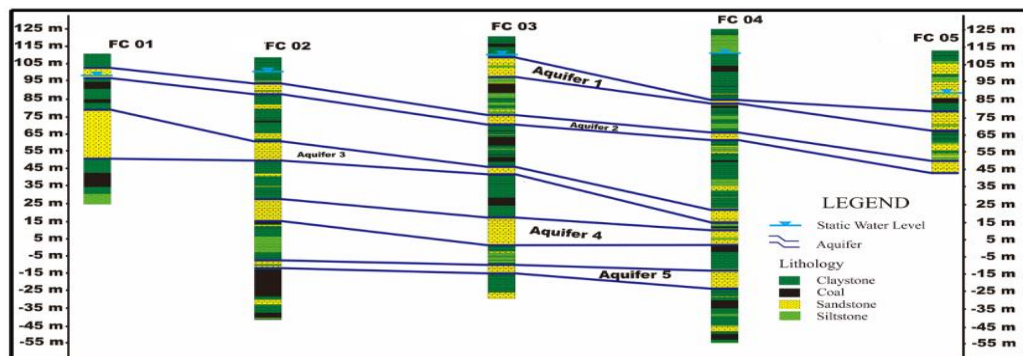
3.2.2. Karakteristik Akuifer

Pengukuran muka airtanah pada daerah penelitian dilakukan setelah pengeboran geoteknik maupun pengeboran hidrogeologi, pengukuran dilakukan dengan rentang waktu ± 2 hari setelah selesainya pengeboran untuk mendapatkan kondisi airtanah yang *steady*, data pengukuran muka airtanah dapat dilihat pada tabel 0.3.

Tabel 0.3 Data Pengukuran Muka Airtanah Daerah Relitian.

| Borehole NAME | EASTING | NORTHING | Z | MAT | Z_MAT |
|---------------|---------|----------|-------------|-------|----------|
| FC_03 | 403242 | 51933 | 120.7126141 | 11.2 | 109.5126 |
| FC_01 | 400843 | 48623 | 110.7212137 | 12.5 | 98.21 |
| FC_02 | 402906 | 49063 | 108.7434823 | 8.94 | 99.8 |
| FC_04 | 402895 | 54672 | 124.9903416 | 12.1 | 112.8903 |
| FC_05 | 401880 | 52140 | 112.577104 | 26.03 | 86.54 |

Korelasi 5 borehole yang dilakukan didaerah penelitian, untuk mengetahui lokasi akuifer yang terdapat pada daerah penelitian, menunjukkan bahwasanya pada kawasan tersebut terdapat 5 lapisan akuifer. Ketebalan dari masing-masing lapisan akuifer tersebut beragam, dari hasil log bor lapisan batupasir yang menjadi akuifer paling tebal berada pada titik FC_01 dengan ketebalan ± 25 meter (Gambar 08)



Gambar 08. Korelasi Logbor untuk Mengetahui Keberadaan Akuifer di Daerah Penelitian



Gambar 09. Peta Lokasi dan Elevasi Titik Pengeboran didaerah Penelitian.

Investigasi hidrogeologi secara umum menemukan ada 5 akuifer tertekan yang berada di wilayah Penelitian, pemboran geoteknik dilakukan di titik FC-05 dengan kedalaman 70 m yang berada di *low wall* rencana tambang. Pengujian akuifer dilakukan di satu titik pada lubang bor FC-05 pada akuifer yang berada di kedalaman 20.04-25.18 meter yang merupakan akuifer tertekan.

Tabel 04. Lokasi Uji Pemompaan lubang bor FC-05

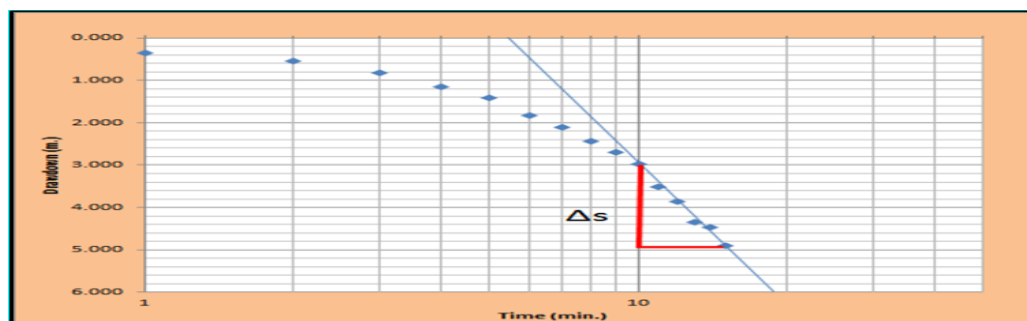
| Hole | East | North | Elev (MSL) | Drilled Depth (m) | Casing Size (inch) | Casing Depth (m) | PERFORATED (m) | | | Water Level | |
|-------|-----------|----------|------------|-------------------|--------------------|------------------|----------------|---------------|-------------|-------------|-------|
| | | | | | | | Depth | Aquifer Thick | Over Burden | (m) | (MSL) |
| FC-05 | 401880.00 | 52140.00 | 110.69 | 70.00 | 4 | 31 | 20.04-25.18 | 5.14 | 08 of 511 | 26.03 | 84.66 |

Uji pemompaan dilakukan untuk mengetahui nilai konduktivitas hidraulika lapisan akuifer. Setelah instalasi pemasangan casing dan pompa di masukkan ke dalam sumur uji hingga ketinggian air naik ke statis, uji pemompaan sebagai uji laju konstan dan uji pemulihan dilakukan. Metodologi uji pemompaan dapat di ringkas sebagai berikut.

- Uji pemompaan akuifer dilakukan dengan menggunakan debit konstan. Kedalaman permukaan air dengan waktu diukur di sumur pemompaan. Kedalaman air 26.03m dari permukaan tanah dan kedalaman pompa Submersible sampai 31m, ada kemungkinan kondisi lubang runtuh sehingga pompa tidak masuk sampai total kedalaman pemboran (70m).
- Setelah mematikan pompa, permukaan airtanah akan mengisi kembali dan naik ke atas, saat itulah uji pemulihan dilakukan. Kedalaman permukaan airtanah dan waktu di ukur secara bersamaan di sumur pemompaan (ada kemungkinan air yang masuk merupakan air infiltrasi dari lubang pemboran geoteknik pertama karena jarak antara lubang pertama dan kedua hanya 1.8m)
- Laju pemompaan airtanah diukur dengan flow meter.
- Durasi uji pemompaan dapat diringkas sebagai berikut:
 - Uji laju konstan selama 15 menit
 - Tes pemulihan selama 375 menit
 - Total waktu pengerjaan adalah 390 menit

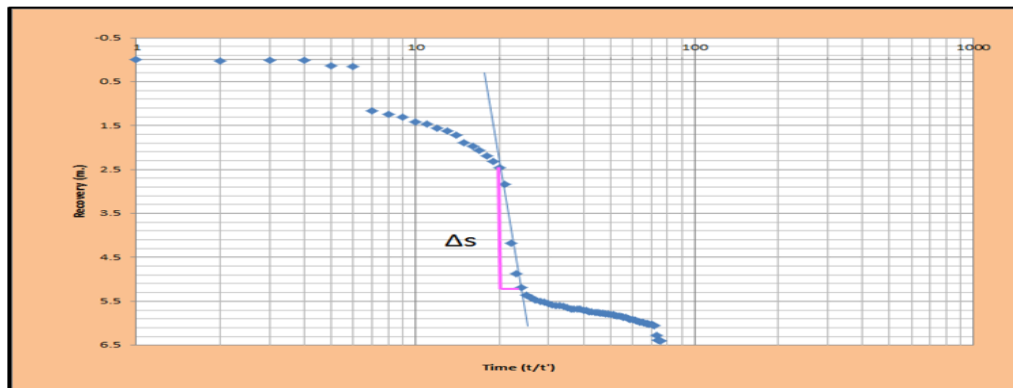
Analisa data uji pemompaan menggunakan Metode Cooper dan Jacob (1946) dimana uji pemompaan membuat kondisi akuifer dalam keadaan non-kesetimbangan, airtanah didalam formasi akuifer tertekan dipompa dalam waktu tertentu dan airtanah mengisi kembali kedalam formasi akuifer.

- Uji pemompaan, kurva waktu-drawdown diplot pada kertas semi-logaritmik. Waktu sejak pompa dinyalakan sepanjang sumbu X logaritmik, sedangkan drawdown diplot sepanjang sumbu Y linier (Cooper dan Jacob) (Gambar 10).

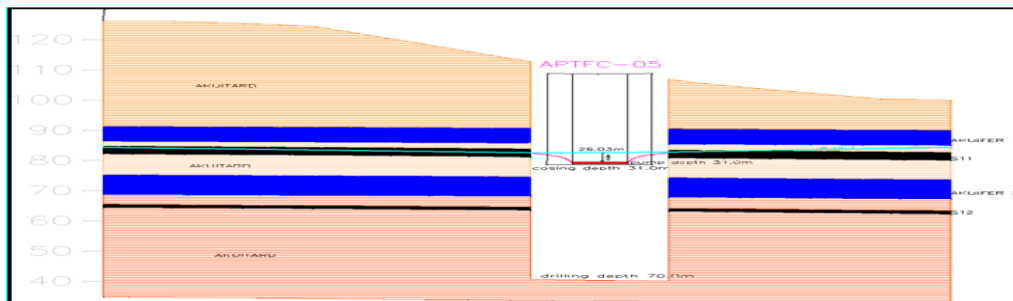


Gambar 10. Kurva Uji Pemompaan Bor FC-05

- Uji pemulihan, rasio waktu diplot sepanjang sumbu x logaritmik, sedangkan pemulihan diplot sepanjang sumbu y linier (THEIS & JACOB) (Gambar 11).



Gambar 11. Kurva Uji Recovery Bor FC-05



Gambar 12. Penampang Uji Pemompaan Bor FC-05.

Tabel 07 Hasil Uji Pemompaan Bor FC-05

| No. | Description Parameters | unit | Well Name | |
|-----|-------------------------------------|------------------------|-----------|----------|
| | | | APTFC-05 | |
| | | | Constant | Recovery |
| 1 | Aquifer thickness | m. | 5 | |
| 2 | Depth of submersible pump | m. | 31 | |
| 2 | Pumping rate (Q) | m ³ /hr. | 0.2316 | |
| 3 | Static water level (SWL.) | m. | 26.03 | |
| 4 | Maximum Drawdown | m. | 30.93 | |
| 5 | Well specific capacity (Q/drawdown) | m ³ /hr./m. | 0.0473 | |
| 6 | Transmissivity (T) | m ² /sec. | 6.10E-06 | 3.92E-06 |
| 7 | Hydraulic conductivity (K) | m/sec. | 4.39E-03 | 7.85E-07 |
| 8 | Storativity (S) | | - | - |

3.2.3. Parameter Dan Keterbatasan Permodelan

Dalam penggunaannya, model numerik memiliki beberapa batasan karena pemodelan merupakan bentuk sederhana dari natural system dari daerah kajian yang sangat kompleks sehingga tidak seluruhnya dapat diterjemahkan kedalam perangkat lunak. Untuk itu digunakan beberapa asumsi dan juga generalisasi untuk menjalankan pemodelan sesuai dengan konsep hidrogeologi hasil interpretasi. Berikut adalah beberapa batasan dan asumsi yang digunakan dalam pemodelan ini:

1. Kondisi batas model yang dipilih memiliki beberapa asumsi, dimana asumsi ini penting untuk menyederhanakan perhitungan numerik.
2. Kondisi aliran air tanah bersifat *steady-state*.

JGP (Jurnal Geologi Pertambangan)

3. Setiap unit litologi yang terdapat di daerah model diasumsikan bersifat homogen dan isotropis.
4. Sistem airtanah diasumsikan sebagai media berpori, yang memiliki sifat homogen dan isotropik dalam arah horizontal ($K_x = K_y$).
5. Nilai konduktivitas hidrolika horizontal diasumsikan dengan nilai 1 orde eksponen lebih besar dari nilai konduktivitas hidrolika vertical ($K_x=K_y=10K_z$).
6. Nilai besarnya infiltrasi air permukaan ke dalam akuifer dianggap sama pada seluruh daerah pemodelan.
7. Nilai-nilai yang dihasilkan pada pemodelan ini merupakan nilai relatif dan bukan nilai absolut.
8. Interpolasi dan ekstrapolasi dari data lapangan digunakan untuk melengkapi data masukan bagi pemodelan ini.

Parameter hidrolika adalah parameter yang penting dalam pemodelan numerik ini, salah satunya konduktivitas hidrolika. Penyebaran konduktivitas hidrolika akuifer pada model akan menentukan arah dan kecepatan aliran air tanah di dalam sistem akuifer. Setiap satuan litologi diasumsikan sifat material yang *homogenous* dan isotropis. Penyebaran nilai konduktivitas hidraulika secara rinci dapat dilihat pada Tabel 0.8.

Tabel 08. Penyebaran Nilai Konduktivitas dari Uji Pumping Test.

| Satuan Geologi | Hidro-stratigrafi | $K_x = K_y$ | K_z | Sumber Data |
|----------------|-------------------|----------------|----------------|----------------------|
| | | m/s | m/s | |
| Batupasir | Akuifer | 3E-4 s/d 3E-6 | 3E-5 s/d 3E-7 | Anderson et al, 2015 |
| Batulempung | Akuiklud | 2E-8 s/d 2E-10 | 2E-9 s/d 2E-10 | Anderson et al, 2015 |
| Batulanau | Akuitar | 2E-7 s/d 3E-8 | 3E-8 s/d 2E-9 | Anderson et al, 2015 |
| Batubara | Akuitar | 5E-7 s/d 5E-8 | 5E-8 s/d 5E-8 | Anderson et al, 2015 |

3.2.4. Permodelan Airtanah

Pemodelan aliran air tanah digunakan dengan mengasumsikan aliran air dengan kondisi *steady-state* dimana kondisi konfigurasi muka air tanah di daerah model tidak mengalami perubahan terhadap waktu. Pada kajian ini menggunakan kondisi model *steady-state* yang nantinya bersamaan dengan kondisi batas akan mempengaruhi hasil arah aliran air. Batas-batas pemodelan yang dapat dijumpai pada pemodelan ini adalah, *flow boundary* (batas ada aliran air tanah), data muka airtanah dan *river boundary* (sungai).

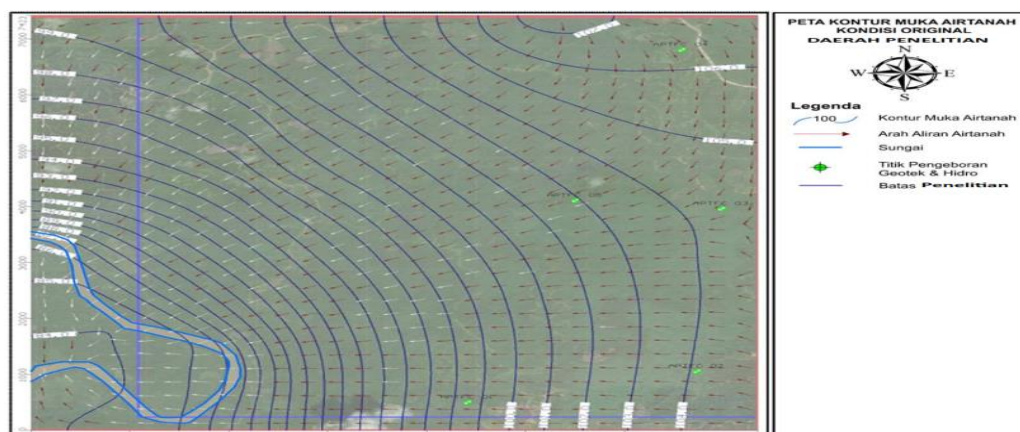
Simulasi pemodelan aliran air tanah pada masing-masing model dilakukan menggunakan dua skenario. Skenario pertama merupakan kondisi aktual dan skenario kedua merupakan kondisi produksi tambang hingga elevasi tertentu. Kedua skenario ini dibedakan berdasarkan topografi dan kondisi batas model

Dalam melakukan *running* pemodelan, dibutuhkan proses kalibrasi atau penyesuaian data sehingga model yang telah dibuat dapat menghasilkan muka air tanah yang paling sesuai dengan keadaan asli di alam (Boonstra & de Ridder, 1981). Kalibrasi pada pemodelan ini dilakukan sehingga dapat dilakukan *running*

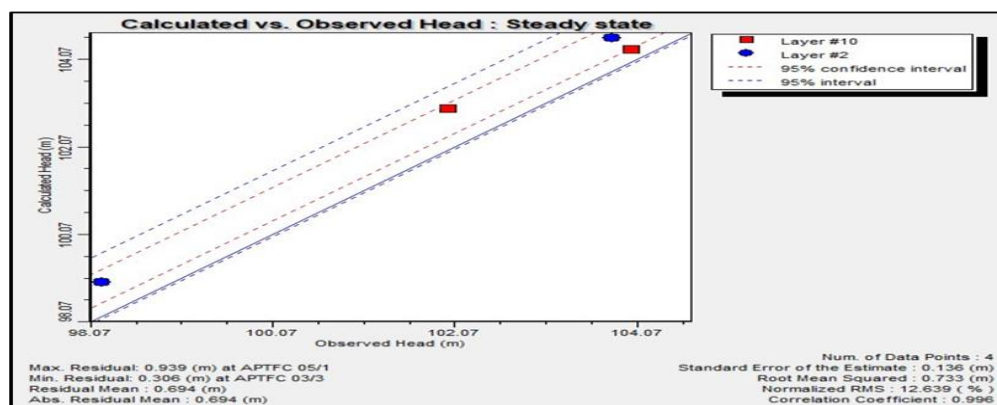
JGP (Jurnal Geologi Pertambangan)

terhadap model. Proses kalibrasi yang dilakukan pada pemodelan ini yaitu merubah nilai konduktivitas hidrolika sesuai rentang batas pada tabel 08. Kalibrasi menggunakan data muka air tanah dari data primer di lapangan, sehingga data elevasi muka air tanah tersebut sangat representatif dan digunakan untuk mengkalibrasi hasil model hingga mendapatkan model yang terkalibrasi. Model yang terkalibrasi ditunjukkan dengan nilai RMS error dibawah 15 %.

Hasil simulasi skenario kondisi aktual dapat dilihat pada Gambar 13-14, sedangkan hasil simulasi skenario kondisi *LOM* dapat dilihat pada Gambar 16-17. Berdasarkan hasil simulasi tersebut arah aliran air tanah pada kondisi aktual umumnya bergerak menuju ke arah barat daya daerah kajian dan sebagian besar air tanah menyuplai ke arah. Sifat sungai dari model aliran air tanah ini menunjukkan sungai-sungai tersebut bersifat *gaining stream* pada kondisi actual sebelum penambangan. *Head* air tanah di area kajian pada kondisi aktual yaitu antara 84-102



Gambar 13. Peta Muka Airtanah Kondisi Original Daerah Penelitian.

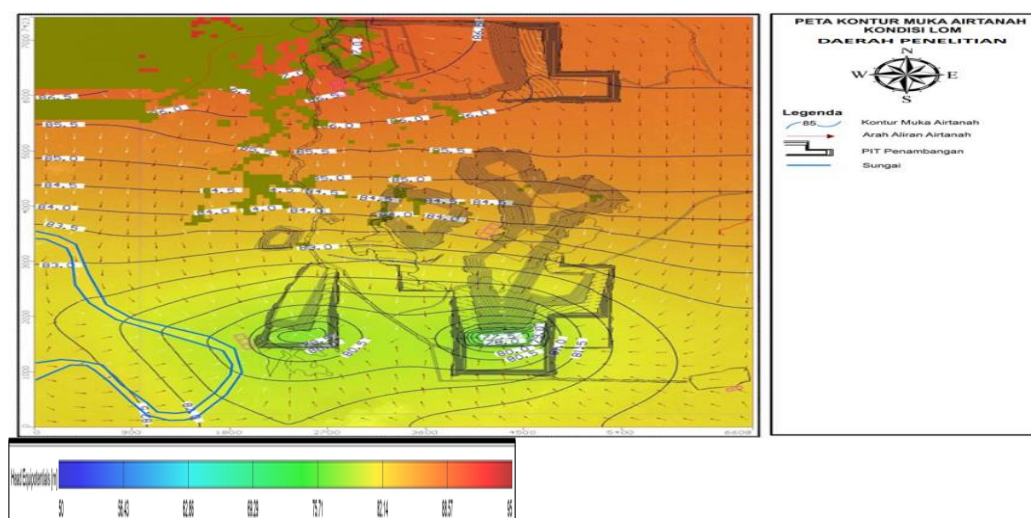


Gambar 14. Hasil Kalibrasi Pemodelan

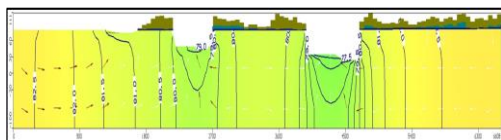
Sedangkan simulasi skenario kondisi *LOM* pada Gambar 15-17, menunjukkan penurunan muka air tanah oleh proses penambangan. Hasil penurunan ini cenderung luas di daerah penambangan, dan arah aliran air tanah cenderung mengalir memasuki area pit. Untuk keseluruhan pola aliran air tanah dan arah aliran di daerah penambangan memiliki dampak yaitu terganggunya muka

JGP (Jurnal Geologi Pertambangan)

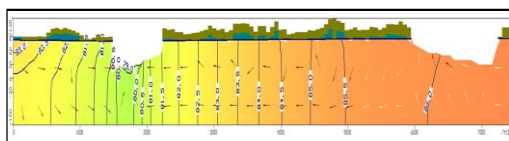
airtanah disekitar daerah penambangan dan arah aliran airtanah dibagian utara sebagian mengalir menuuju pit yang berada di bagian utara. Sedangkan dengan adanya aktifitas penambangan di bagian selatan menyebabkan terjadinya perubahan sifat sungai, yang awalnya *gaining stream* menjadi *loosing stream* hal tersebut diakibatkan penurunan muka airtanah yang disebabkan adanya aktifitas penambangan, dimana void tersebut menjadi zona *discharge* baru bagi airtanah dan zona discharge tersebut memiliki *head* yang lebih rendah daripada sungai sehingga sifat sungai yang awalnya *gaining stream* berubah menjadi *loosing stream*



Gambar 15. Peta Muka Airtanah Kondisi LOM Daerah Penelitian.



Gambar 16. Sayatan A-A' Muka Airtanah Kondisi LOM Daerah Penelitian



Gambar 17. Sayatan B-B' Muka Airtanah Kondisi LOM Daerah Penelitian.

4. Kesimpulan

1. Akuifer didaerah penelitian, secara litologi berupa batulempung pasiran dan batupasir. Jenis akuifer tertekan dan setengah tertekan dengan pola aliran airtanah secara umum dari arah timur-laut menuju barat-daya.
2. Dari hasil korelasi titik sumur bor, berdasarkan lithologi, bahwa daerah penelitian didapatkan 5 (lima) akuifer.
3. Pada daerah Pit penambangan, aliran muka airtanah akan mengalir secara *gaining stream*, tapi pada kondisi selanjutnya akan terjadi *loosing stream*, hal ini disebabkan terjadi penurunan muka airtanah pada daerah aktifitas

JGP (Jurnal Geologi Pertambangan)

penambangan, dimana void akan menjadi zona discharge baru, dimana zona discharge mempunyai head yang lebih rendah dibandingkan dengan sungai. Dimana sungai yang awalnya mempunyai sifat gaining stream berubah menjadi losing stream.

Daftar Pustaka

- Anderson, M. P., and Woessner, W. W. (1992). *Applied Groundwater Modelling: Simulation of Flow and Advective Transport*. Academic Press.
- Hendrayana, H (1994). *Pengantar Model Aliran Air Tanah*. Departemen Teknik Geologi Geologi, Fakultas Teknik. Universitas Gadjah Mada.
- Appelo, C.A.J., Parkhurst, D.L., 2012, PHREEQC, *A Hydrogeochemical Transport Model, Graphical User Interface*, V.E.A. Post, USGS
- Ball, J.W., and Nordstrom, D.K, 1991, *User's Manual for WATEQ4F, with Revised Thermodynamic Database and Test Cases for Calculating Speciation of Minor, Trace and Redox Element in Natural Waters*, U.S. Geol. Surv., *Open File Rep.* 91-183, 189
- Garrels, R. M. ,1984. Montmorillonite/illit stability stability diagram. *Clays and Clay minerals* 32. 161-166.
- Herbert, B., 1994, *Metal Transport in Groundwater Contaminated by Acid Mine Drainage*, *Inst. of Earth Science University of Uppsala*, Sweden.
- Hounslow Arthur, 195, *Water Quality Data: Analysis and interpretation*, CRC Press, New york, p.88-90
- Irawan, D.E., Puradimaja, D.J., 2013 *Lembar Kerja Hidrogeologi Umum, Kelompok Keahlian Geologi Terapan Fakultas Ilmu Dan Kebumihan Institute Teknologi Bandung*.
- Hendrayana, H (1994). *Pengantar Model Aliran Air Tanah*. Departemen Teknik Geologi Geologi, Fakultas Teknik. Universitas Gadjah Mada.
- Healy, R.W., 2010, *Estimating Groundwater Recharge*, United Kingdom, Cambridge University Press.
- Hounslow, A., 195, *Water Quality Data: Analysis and Interpretation*: CRC Press, New York, USA, p. 88–90
- Lobeck, A.K., 1939, *Geomorphology*, McGraw-Hill Book Company, New York
- Mandel, S., Shiftan, Z.L., 1981, *Groundwater Resources: Investigation And Development*, Academic Press. Inc, USA.
- Nordstrom, D.K ., Plummer, L, N.,Langmuir, E., Busenverg, E., and May, H. M., 1990. Revised chemical equilibrium data for major water mineral reaction and their limitation. In Melchior, D. C., and Bassett, R. L., (eds). *Chemical Modeling in Quaeus Systems II*, American Chemical Soceity Symposium Series 416. Washinton, DC: American Chemical Soceity, pp. 398-416.
- Putra, D.P.E., 2007, *The Impact of Urbanization in Groundwater Quality : A Case Study in Yogyakarta City – Indonesia*, Jerman: Aachen.