Analisis perubahan debit akibat tambang terbuka dan penyalirannya di wilayah tambang batugamping, Baturaja
Analysis of changes in discharge due to open pit mining and mine dewatering in the limestone mining area, Baturaja

Muhammad Zarkasih¹, Maulana Ghulam Ahmad¹, Achmad Darul^{1*}, Ahmad Taufik², Dasapta Erwin Irawan³

¹ Institut Teknologi Sains Bandung, Jl. Ganesha Boulevard, Kota Deltamas-Bekasi

² Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Air, Jl. Ir. H. Djuanda- Bandung

³ Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10-Bandung

*Corresponding author: darul@itsb.ac.id

ABSTRAK

Kegiatan penambangan batu gamping sebagai bahan utama semen untuk pembangunan/konstruksi yang terletak dekat dengan permukaan dilakukan dengan metode tambang terbuka (*open cut*) dengan metode *side hill*, dimulai dari permukaan menuju ke arah bawah, metode tambang terbuka erat kaitannya dengan upaya pengendalian air permukaan alamiah diantaranya air limpasan dari presipitasi yang dipengaruhi iklim.

Permasalahan akibat tambang terbuka dengan metode *Side Hill*, adalah perubahan bentuk morfologi yang akan merubah pola aliran air permukaan mengikuti pola struktur geologi, serta merubah daerah tangkapan air permukaan menjadi lebih detail dan terdeliniasi menjadi *sub-catchment* yang lebih kecil pada masing-masing lokasi bukaan. Data pemboran Geoteknik, data topografi secara berkala dan, data klimatologi dari tahun 2009 sampai 2018 telah dikumpulkan, untuk menghitung neraca air sebagai rekomendasi teknis penyaliran air tambang.

Dari hasil pengamatan dan perhitungan yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan, pada

tahun 2018 debit air limpasan tertinggi terjadi pada bulan Maret dengan besar debit 9.62 m³/detik. Dan nilai debit air terendah terjadi pada bulan Juli, yaitu 1.09 m³/detik. Berdasarkan besaran debit dimensi saluran yang direkomendasikan yaitu dengan kedalaman saluran 2 m, lebar dasar saluran 2.5 m, dan lebar muka air 4.6 m.

Kata kunci: Penyaliran, Tambang terbuka, Air Limpasan.

ABSTRACT

Limestone mining activities as the main ingredient of cement for development / construction which is located close to the surface using the open pit method with the side hill method, start from the surface to the downward, open pit method is closely related to the natural surface water control efforts like a runoff from precipitation that affected by climate

The problem due to open pit mining with side hill methods, is the change in morphology forms that will change the pattern of surface water flow following the pattern of geological structure, and change the water surface catchment area to be more detailed and eliminated in to smaller sub-

catchment at each opening location, Geotechnical drilling data, topographic data periodically and, climatological data from 2009 to 2018 have been collected, to calculate the water balance as a technical recommendation mine water dewatering

From the results of observations and calculations, it can be concluded that in 2018 the highest runoff water flow occurred in March with a discharge rate of 9.62 m³ / s. And the lowest value of water discharge occurs in July, which is 1.09 m³ / second. Based on the amount of discharge the recommended channel dimensions are with a channel depth of 2 m, the width of the base of the channel 2.5 m, and the width of the water surface 4.6 m.

Key word: *Dewatering, Open-Pit, Run-off.*

PENDAHULUAN (INTRODUCTION)

Di Baturaja kegiatan penambangan batu gamping sebagai bahan utama semen untuk pembangunan/konstruksi yang terletak dekat dengan permukaan dilakukan dengan metode tambang terbuka (*open cut*) dengan metode *side hill*, akibat penambangan terbuka ini mengakibatkan perubahan bentuk morfologi sehingga pola aliran air limpasan mengikuti pola topografi, serta mengubah daerah tangkapan air permukaan menjadi lebih detail dan terdeliniasi menjadi *sub-catchment* yang lebih kecil pada masing-masing lokasi bukaan, lokasi penambangan di Baturaja berdasarkan pada citra Aster (LP-DAAC, 2018) berada pada elevasi +60 mdpl, sedangkan penambangan terendah dengan metode tambang terbuka telah mencapai lebih dari 20 meter. Permasalahan pertama adalah air limpasan, yaitu saat dan setelah hujan langsung mengalir ke lokasi penambangan karena elevasinya yang lebih rendah dibanding daerah sekitarnya, semakin besar intensitas curah hujan maka semakin besar kuantitas air limpasannya.

Berdasarkan pada peta geologi regional wilayah penambangan berada pada formasi baturaja terdiri dari pasir kwarsa konglomerat yang memiliki konduktivitas hidrolik tinggi dan sedikit lapisan batubara (Gafoer dkk, 1993), dimana pada bagian utara wilayah penambangan mengalir Sungai Komane dengan rata-rata elevasi +55mdpl, sedangkan bagian selatan mengalir Sungai Ogan dengan elevasi +50mdpl, permasalahan kedua pada kegiatan penambangan yang dimulai dari permukaan menuju ke arah bawah membentuk cekungan, maka rembesan Sungai Komane, Sungai Ogan dan airtanah mengalir dikontrol gravitasi sehingga terkonsentrasi pada *front* kerja. Penelitian lain menyebutkan permasalahan airtanah lainnya pada metode penambangan terbuka adalah ketidakstabilan lereng akibat airtanah, airtanah akan mengisi pori tanah sehingga tekanan air pori meningkat, telah disebutkan beberapa kasus metode tambang terbuka mengakibatkan kejadian longsor pada *low wall* (Alvando dkk 2017; Cahyadi dkk, 2017).

Kuantitas air tambang memiliki pengaruh besar terhadap produktivitas tambang (Fernández-Álvarez dkk, 2016), sehingga diperlukan berbagai metode untuk mengatur aliran air yang masuk dan keluar dari area tambang baik air permukaan maupun airtanah, upaya pengendalian dan pemantauan air tambang ini dapat ditanggulangi dengan membuat model analitik berupa saluran penyaliran untuk penanganan aliran air limpasan yang masuk pada *front* kerja berdasarkan kajian klimatologi dan perubahan morfologi secara berkala dan memperhitungkan laju rembesan airtanah sesuai sesuai sifat fisik *property hydrogeology*.

LOKASI PENELITIAN (STUDY AREA),

Lokasi penelitian studi kasus tambang terbuka batu gamping ini, berada di daerah Baturaja yang merupakan Ibu Kota dari Kabupaten Ogan Komering Ulu, Sumatera Selatan. Wilayah penambangan berada di perbatasan antara Kecamatan Baturaja Barat dan Kecamatan

Baturaja Timur pada koordinat 4°7'30"S - 104°10'19"E (Gambar 1), dimana penelitian petrografi batu gamping telah dilakukan di lokasi lain (Darul dkk, 2018) dan prinsip serta teknologi penerapan pemodelan aliran airtanah dan air permukaan telah dilakukan oleh peneliti terdahulu di lokasi lainnya (Surinaidu dkk, 2013; Ahmed dkk, 2000; Darul dkk, 2016, Taufik dkk, 2018a, 2018b, 2018c).

Gambar 1. Peta lokasi penelitian di Baturaja

Penelitian terkait penyaliran air tambang guna mengatur aliran air yang masuk dan keluar dari area tambang di Baturaja telah dilakukan secara analitis (Putri, 2014), adapun data klimatologi dan topografi pada penelitian ini adalah data mutakhir sehingga hal ini menjadikannya sebagai kebaruan riset.

METODE (METHODS)

Penelitian dimulai dari studi literatur peneliti terdahulu dan mengkompilasi data sekunder yaitu, peta geologi regional, serta korelasi delapan data bor geoteknik untuk mengetahui sifat fisik *property hydrogeology*, sebaran lokasi pemboran geoteknik berada di koordinat berikut:

Tabel 1. Lokasi Koordinat Data Bor di Baturaja

No	Koordinat (UTM)		Kedalaman (m)	Kode
	x	Y		
1	405863	9543829	50	BH-01
2	405405	9544025	65	BH-02

3	405059	9544317	65	BH-03
4	404882	9544589	75	BH-04
5	404825	9545000	100	BH-05
6	405363	9544813	48	BH-06
7	406255	9544300	150	BH-07
8	404404	9544298	48	BH-08

Kebutuhan data primer curah hujan bersumber dari citra TRMM (TRMM, 2018), untuk mengalisa potensi air hujan menjadi air limpasan, yang dilakukan dengan analisa Neraca Air (*Water Balance*), Neraca Air, yaitu suatu kajian keseimbangan air yang menghitung kelebihan air (*Water Surplus*) berdasarkan curah hujan dan *Limited Evapotranspirasi*, analisa Neraca Air biasanya dilakukan dalam satu bulan tertentu, keseimbangan air menyatakan bahwa jumlah air yang masuk (diimplementasikan sebagai curah hujan) sama dengan jumlah air yang keluar (diimplementasikan dalam bentuk *Limited Evapotranspirasi*, *Soil Moisture*, dan *Water Surplus*), pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode F. J. Mock (Mock dalam Saptadji dkk, 2012).

Perhitungan debit air yang masuk kedalam blok rencana tambang dilakukan dengan menggunakan metode rasional setelah diketahui Intensitas Hujan Maksimum (hasil Neraca Air) dengan persamaan (Syarifudin dkk, 2017):

$$Q = 0,278 \times C \times I_{\max} \times A$$

Q = debit limpasan (m³/det)
C = koefisien limpasan
I_{max} = intensitas hujan maksimum (mm/jam)
A = luas daerah tangkapan/*catchment area* (km²)

Sedangkan perubahan bentuk morfologi akibat bukaan tambang yang akan merubah pola aliran

air limpasan, dan daerah tangkapan air permukaan sehingga menggabungkan beberapa aliran sungai dalam suatu area tangkapan hujan (*Catchment Area*) yang diperkirakan dapat masuk kedalam area penambangan, menggunakan data citra IFSAR dengan resolusi 5m,, TERRASAR-X dengan resolusi 5m dan ALOS PALSAR dengan resolusi 11,25m (Seamless-DEM dan Batimetri Nasional, 2018), pengolahan data topografi dan analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak *open-source* QGIS (QGIS, 2018), data lainnya yaitu, tutupan lahan sebagai masukan data koefisien limpasan (c) pada berbagai kondisi, bersumber pada citra satelit Sentinel-2 (Copernicus, 2018). Batasan luas area tangkapan hujan dibuat setempat pada blok rencana penambangan (*Local Catchment*) berdasarkan pada kondisi morfologi di sekitar daerah prospek.

HASIL DAN PEMBAHASAN (RESULT AND DISCUSIONS)

Data Pemboran.

Berdasarkan data bor geoteknik, satuan batuan di lokasi penelitian dikelompokkan dalam 6 (enam) bidang perlapisan diantaranya berturut-turut dari *top* ke *bottom* yaitu: tanah (*soil*), batugamping, batulempung, batupasir, batulempung, dan batugamping (Gambar 2 dan, Gambar 3):

Gambar 2. Wireframe 3D lapisan batuan

Gambar 3. Penampang sayatan A-A' berarah Utara-Selatan

Air Limpasan

Topografi pada daerah penelitian akan terus berubah seiring dilakukan penambangan (Gambar 4). Pada tambang Batugamping ini, untuk meningkatkan produksinya wilayah penambangan diperluas menuju arah barat laut dan selain memperluas, dilakukan juga dengan memperdalam penggalian material. Dengan kondisi tersebut menyebabkan air limpasan akan mengalir langsung kedalam lokasi penambangan, karena lokasi penambangan memiliki elevasi yang lebih rendah dibandingkan daerah sekitarnya.

Air limpasan ini bersumber dari air hujan, sehingga kuantitas air limpasan akan semakin besar jika intensitas curah hujan besar.

Gambar 4. Peta topografi pada tahun 2009, 2016 dan 2018 di lokasi tambang terbuka di Baturaja

Perhitungan Neraca Air :

Untuk perhitungan neraca air, digunakan metode F.J. Mock guna mendapatkan kurva neraca air. Untuk mencari nilai *water surplus*, harus mendapatkan nilai dari *evapotranspirasi potensial* dan *evapotranspirasi limited* terlebih dahulu. Dari perhitungan tersebut didapatkan kurva neraca air, sebagai berikut;

Gambar 5. Kurva neraca air pada tahun 2009 s.d 2018

Pada daerah penelitian terjadi surplus air pada setiap tahunnya. Tidak terjadi defisit air tetapi surplus air terendah terjadi pada tahun 2014, yaitu 44.81 mm. dan surplus air tertinggi terjadi pada tahun 2010, yaitu 2256.01 mm.

Gambar 6. Kurva neraca air pada tahun 2018

Pada tahun 2018 di daerah penelitian terjadi surplus air pada bulan Januari, Febuari, Maret, April, Mei, dan Juni. Sedangkan defisit air terjadi pada bulan Juli, Agustus, dan September.

Perhitungan Air Limpasan :

$$Q = 0,278 \times C \times \text{Imax} \times A$$

Air limpasan pada tahun 2009 s.d 2018:

Koefisien limpasan (C) = 0.75

Intensitas hujan maksimum (I) mm/jam

Luas daerah tangkapan (A) Km²

Debit (Q) m³/detik

Tabel 2.Perhitungan debit tahunan

Tahun	Imax	A	Q
2009	105.74	0.22	4.85
2010	193.45	0.24	9.68
2012	127.23	0.25	6.63
2014	139.37	0.31	9.01
2016	123.76	0.38	9.81
2018	143.87	0.42	12.60

Setelah dilakukan perhitungan kemudian didapatkan kurva debit air daerah penelitian

tahunan (2009 s.d 2018) seperti gamabar di bawah ini:

Gambar 7. Kurva debit air pada daerah penelitian tahunan

Dari gambar (7), dapat terlihat bahwa debit tertinggi terdapat pada tahun 2018, yaitu 12.6 m³/detik dan debit terendah pada tahun 2009, yaitu 4.85 m³/detik.

Air limpasan pada tahun 2018:

Luas daerah tangkapan hujan (A) dari bulan Januari sampai dengan September diasumsikan sama, yaitu 0.42 km²

Koefisien limpasan (C) = 0.75

Tabel 3. Perhitungan debit pada tahun 2018

Bulan	I (mm/jam)	Q (m³/detik)
Jan	24.34	2.12
Feb	81.22	7.11
Mar	109.8	9.62
Apr	54.24	4.75
Mei	66.94	5.86
Jun	41.8	3.66
Jul	12.43	1.09
ags	15.61	1.37
sep	15.87	1.39

Dari hasil perhitungan diatas kemudian dibuatkan sebuah kurva, agar dapat dilihat perubahan debit setiap tahunnya, berikut adalah kurva debit air:

Gambar 8. Kurva debit air pada daerah penelitian 2018.

Dari kurva debit air di atas, dapat kita lihat bahwa debit air tertinggi terjadi pada bulan Maret dengan besar debit 9.62 m³/detik. Dan nilai debit air terendah terjadi pada bulan Juli, yaitu 1.09 m³/detik.

Penyaliran Tambang

Penyaliran tambang pada daerah penelitian lebih efektif dengan menggunakan saluran tanpa pengerasan, untuk penyaliran pada daerah penelitian akan senantiasa berubah karena pengaruh perubahan debit pada daerah penelitian. Untuk desain penyaliran tambang yang akan dibuat merupakan desain pada tahun 2018.

Dimensi Saluran Penyaliran

Bentuk saluran dalam penyaliran sangat beragam namun saluran berbentuk trapesium yang merupakan saluran yang ekonomis, maka luas penampang basah (A), jari-jari hidrolik (R), lebar dasar saluran (B), lebar muka air (T), kemiringan dinding saluran (m) memiliki hubungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 A &= (B+my)y \\
 R &= y/2 \\
 B &= 1,24y \\
 T &= 2y \sqrt{1+m^2} \\
 m &= 1/\text{tg } \alpha
 \end{aligned}$$

pada dinding saluran dibuat sebesar 60°(α) sehingga menghasilkan perhitungan :

$$m = \frac{1}{\tan 60^\circ} = 0,58$$

Dimana :

$$B = 1,24 y$$

$$\begin{aligned} A &= (B+my)y \\ &= (1,24y + 0,58y)y \\ &= 1,82y^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= 2y \sqrt{1+m^2} \\ &= 2y \sqrt{1+0,58^2} \\ &= 2,31 y \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \frac{y}{2} \\ &= 0,5y \end{aligned}$$

Kapasitas untuk saluran menggunakan rumus:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

$$Q = A \times V$$

Sehingga :

$$Q = A \times \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

Diketahui :

$$Q = 9,62 (\text{m}^3/\text{detik})$$

$$A = 1,82y^2 (\text{m}^2)$$

$$S = 0,25 (\%)$$

$$R = 0,5y (\text{meter})$$

$$n = 0,03$$

maka :

$$Q = A \times \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

$$9,62 = (1,82y^2) \times (1/0,03) \times (0,5y)^{2/3} \times (0,0025)^{1/2}$$

$$\begin{aligned} 9,62 &= 1,91088y^{8/3} \\ y^{8/3} &= 5,034329 \\ y &= 1,833277 = 2 \text{ m (dibulatkan)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= 1,24y \\ &= 1,24 (2) \end{aligned}$$

$$= 2,48 \text{ m} = 2,5 \text{ m (dibulatkan)}$$

$$\begin{aligned} T &= 2,31y \\ &= 2,31 (2) \\ &= 4,62 \text{ m} = 4,6 \text{ m (dibulatkan)} \end{aligned}$$

Oleh karena itu dimensi saluran adalah :

Gambar 9. Desain saluran pada tahun 2018

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa :

- Kedalaman saluran (y) = 2 m
- Lebar dasar saluran (B) = 2.5 m
- Lebar muka air (T) = 4.6 m

KESIMPULAN (CONCLUSION)

Dari hasil analisis dan perhitungan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Surplus air pada daerah penelitian terjadi pada setiap tahunnya. Dengan surplus air terendah terjadi pada tahun 2014, yaitu 44.81 mm. Surplus air tertinggi terjadi pada tahun 2010, yaitu 2256.01 mm.
- Pada tahun 2018, surplus air terjadi pada bulan Januari, Februari, Maret, April, Mei, dan Juni. Sedangkan deficit air terjadi pada bulan Juli, Agustus, dan September.
- Besar debit air limpasan tertinggi di wilayah penambangan pada tahun 2018, yaitu 12.6 m³/detik, dengan intensitas curah hujan maksimal 143.87 mm/jam. Dan debit air terendah terjadi pada tahun 2009, yaitu 4.85 m³/detik.

- d. Pada tahun 2018 debit air limpasan tertinggi terjadi pada bulan Maret dengan besar debit 9.62 m³/detik. Dan nilai debit air terendah terjadi pada bulan Juli, yaitu 1.09 m³/detik.
- e. Penyaliran tambang pada daerah penelitian dengan menggunakan sistem saluran, yang dimana bentuk saluran yang dipakai saluran berbentuk trapesium.
- f. Dimensi saluran yang dibuat dengan kedalaman saluran 2 m, lebar dasar saluran 2.5 m, dan lebar muka air 4.6 m.

UCAPAN TERIMA KASIH (ACKNOWLEDGEMENT)

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada segenap dosen pembimbing penulis atas kesempatan dan bimbingannya yang diberikan untuk membantu dalam melaksanakan penelitian dan menyusun paper ini.

DAFTAR PUSTAKA (REFERENCES)

- Ahmed S, Gurunadha Rao VVS, Dhar RL, Jain SC, Anjaneyulu GR, Krishnan V (2000) Study of the impact of Bansagar Reservoir on groundwater seepage to Kuteshwar Limestone Mines, Jabalpur District. M. P, Tech Rep. No. NGRI-2000-GW-264, pp. 82
- Alvando, P. V., Darul, A., & Irawan, D. E. (2017). Pemodelan Dampak Pemasangan Inclined Drain Hole Pada Wall Pit Pt XXX Terhadap Penurunan Muka Airtanah <https://doi.org/10.31227/osf.io/ym925>.
- Anderson MP, Woessner WW (1991) Applied groundwater modeling: simulation of flow and advective transport. Academic Press, San Diego
- Cahyadi, T. A., Widodo, L. E., Syihab, Z., & Notosiswoyo, S. (2017). Pengaruh Instalasi Drain Hole Terhadap Penurunan Muka Airtanah Pada Media Permeabilitas Yang Berbeda (Studi Kasus Model Konseptual). Copernicus Open Access Hub free an open access to Sentinel-1, Sentinel-2, and Sentinel-3 <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> diakses 3 Oktober 2018.
- Darul, A., Irawan, D. E., Ramdani, J., Septiana, F., & Sholihat, S. S. (2018). Multivariate Analysis of Limestone Petrography Data on Kalipucang Formation Using R. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 145, No. 1, p. 012089). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/145/1/012089>
- Darul, A., Irawan, D. E., Trilaksono, N. J., Pratama, A., & Fitria, U. R. (2016). Conceptual model of groundwater and river water interactions in Cikapundung riverbank, Bandung, West Java. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 29, No. 1, p. 012026). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/29/1/012026>
- Fernández-Álvarez, J. P., Álvarez-Álvarez, L., & Díaz-Noriega, R. (2016). Groundwater Numerical Simulation in an Open Pit Mine in a Limestone Formation Using. *Mine Water and the Environment*, 35(2), 145-155. <https://doi.org/10.1007/s10230-015-0334-8>
- Gafoer, S., Amin, T.C., Pardede, R. 1993. Peta Geologi Lembar Baturaja, Sumatera 1:250,000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi
- Mcdonald MG, Harbaugh AW (2003) The history of MODFLOW. *Ground Water* 41(2):280–283. doi: [10.1111/j.1745-6584.2003.tb02591.x](https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2003.tb02591.x)
- Putri, Y. E. (2014). Analisa Penyaliran Air Tambang Batu Kapur PT. Semen Baturaja

- (Persero) di Pabrik Baturaja. *Jurnal Desiminasi Teknologi*, Volume 2, No. 1. <http://www.univ-tridinanti.ac.id/ejournal/index.php/teknik/article/view/185/217>
- QGIS-Sistem Informasi Geografis yang Gratis dan Terbuka, <https://qgis.org/id/site/> diakses 30 September 2018
- Saptadji, N. M., Artika, Y., & No, J. G. (2012). Surface water potential analysis and groundwater conservation concept at Kamojang geothermal field. In *Proc., 37th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*.
- Seamless Digital Elevation Model (DEM) dan Batimetri Nasional, <http://tides.big.go.id/DEMNAS/> diakses 4 Oktober 2018.
- Surinaidu, L., Rao, V. G., & Ramesh, G. (2013). Assessment of groundwater inflows into Kuteshwar Limestone Mines through flow modeling study, Madhya Pradesh, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(4), 1153-1161 <https://doi.org/10.1007/s12517-011-0421-5>.
- Syarifuddin, S., Widodo, S., & Nurwaskito, A. (2017). Kajian Sistem Penyaliran Pada Tambang Terbuka Kabupaten Tanah Bumbu Provinsi Kalimantan Selatan. *Jurnal Geomine*, 5(2). <https://jurnal.teknologiindustriumi.ac.id/index.php/JG/article/view/132>
- The Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) Global Data Explorer. <https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/> diakses 5 Oktober 2018
- The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) <https://pmm.nasa.gov/data-access/downloads/trmm>. Diakses 2 Oktober 2018
- Taufiq, A., Hosono, T., Ide, K., Kagabu, M., Iskandar, I., Effendi, A. J., ... & Shimada, J. (2018). Impact of excessive groundwater pumping on rejuvenation processes in the Bandung basin (Indonesia) as determined by hydrogeochemistry and modeling. *Hydrogeology Journal*, 26(4), 1263-1279. <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1728-z>
- Taufiq, A., Effendi, A. J., Iskandar, I., Hosono, T., & Hutasoit, L. M. (2018). Controlling factors and driving mechanisms of nitrate contamination in groundwater system of Bandung Basin, Indonesia, deduced by combined use of stable isotope ratios, CFC age dating, and socioeconomic parameters. *Water Research* <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.10.049>
- A Taufiq, T Hosono, I Iskandar, AJ Effendi, LM Hutasoit. 2018. Estimating Groundwater Mixing Ratios from Vertical Flux Processes due to Excessive Groundwater Pumping Using Hydrogeochemical Parameters and Nitrate Concentrations in the Bandung Basin, Indonesia. *Geologia Croatica* 71 (3), 175-186 doi: 10.4154/gc.2018.19