

Kesetimbangan Massa Klorida untuk Menentukan Transfer Airtanah Cat Ciater - Cat Subang di Kabupaten Subang Provinsi Jawa Barat

Febri Ruswandi*, Yunus Ashari, Yuliadi

Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

*febriruswandioffice@gmail.com, yunusashari@unisba.ac.id, yuliadi@unisba.ac.id

Abstract. According to the Minister of Energy and Mineral Resources Regulation Number 2 of 2017 that CAT Subang borders the NonCAT zone, the division of these boundaries is based on the existence of the Baribis Fault which is considered a barrier to groundwater flow. However, based on Wahi et al (2008) research a fault can act as a barrier or channel for groundwater flow. Quoting from Wahi et al (2008) as the concept of groundwater flow and its recharge mechanism in the Mountain Recharge System (MSR), it can be distinguished from flow infiltration in the mountain-front zone or Mountain Front Recharge (MFR) and subsurface flow from mountains to basins or mountains. Block Recharge (MBR), the presence of the Baribis Fault can affect the control of groundwater flow to become MFR or MBR, even a combination of the two. This research is intended to examine the effect of faults on the groundwater recharge mechanism and flow, including knowing the effect of the Baribis Fault and other faults in the vicinity (Talagasari Fault and Wanareja Fault) on the absorption of rainwater into groundwater through macropore media (fractures) in the fault zone area (CAT Ciater, Non-CAT, and CAT Subang); knowing the effect of the Baribis Fault on groundwater flow control in the concept of Mountain Recharge System; and estimate the value of groundwater supplied from CAT Ciater, Non-CAT and to CAT Subang. The approach uses the CMB method locally to estimate the value of macropore recharge and the regional CMB method to determine inter-basin flow transferred through the Baribis Fault and estimate its volumetric value. The existence of the Baribis Fault and other faults simultaneously affects the absorption of rainwater into groundwater through macropore media in the CAT Ciater and Non-CAT fault zones. Estimation using the CMB method shows that the duality of groundwater recharge through interstitial and macropore media occurs in CAT Ciater, 29.75% of groundwater in CAT Ciater comes from recharge through macropore media and the rest mostly through interstitial media (rock pores). Meanwhile, Non-CAT is considered unable to escape and store groundwater but can store groundwater through macropore media with a value of 53% and the rest through interstitial media. In CAT Subang there is no groundwater recharge through macropore media, recharge only through interstitial media. Based on the regional CMB method approach with estimation parameters involving the three zones (CAT Ciater, Non-CAT, and CAT Subang) which shows the implications between the sample in the South of the Baribis Fault with the North of the Baribis Fault. Regional groundwater transfer shows the Baribis Fault ability to pass groundwater in the concept of Mountain Recharge System (MSR).

Keywords: Mountain Recharge System, Mountain Front Recharge, Mountain Block Recharge, Chloride Mass Balance.

Abstrak. Mengacu pada Permen ESDM Nomor 2 Tahun 2017 bahwasanya CAT Subang berbatasan dengan zona NonCAT, pembagian batas tersebut berdasarkan keberadaan Sesar Baribis yang dianggap penghalang aliran airtanah. Tetapi, berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wahi et al (2008) menyatakan bahwa suatu sesar dapat

bertindak sebagai penghalang atau penyalur aliran airtanah. Mengutip dari Wahi et al (2008) sebagaimana konsep aliran airtanah dan mekanisme imbuhan pada Mountain Recharge System (MSR), dapat dibedakan dengan infiltrasi aliran di zona depan-gunung atau Mountain Front Recharge (MFR) dan aliran bawah permukaan dari gunung menuju cekungan atau Mountain Block Recharge (MBR), keberadaan Sesar Baribis dapat mempengaruhi kontrol aliran airtanah menjadi MFR atau MBR, bahkan gabungan dari keduanya. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengkaji pengaruh sesar terhadap mekanisme imbuhan dan aliran airtanah, di antaranya seperti mengetahui pengaruh Sesar Baribis dan sesar lain di sekitarnya (Sesar Talagasari dan Sesar Wanareja) terhadap kemampuesapan air hujan menjadi airtanah melalui media makropori (rekahan) di daerah zona sesar (CAT Ciater, Non-CAT, dan CAT Subang); mengetahui pengaruh Sesar Baribis terhadap kontrol aliran airtanah pada konsep Mountain Recharge System; dan mengestimasi nilai airtanah yang disuplai dari CAT Ciater, Non-CAT dan ke CAT Subang. Pendekatan menggunakan metode CMB secara lokal untuk mengestimasi adanya nilai imbuhan makropori dan metode CMB secara regional untuk mengetahui keberadaan aliran antarcekungan yang ditransfer melewati Sesar Baribis, serta mengestimasi nilai volumetrinya. Keberadaan Sesar Baribis dan sesar lain di sekitarnya secara simultan mempengaruhi kemampuesapan air hujan menjadi airtanah melalui media makropori di daerah zona sesar CAT Ciater dan NonCAT. Estimasi dengan metode CMB menunjukkan bahwa dualitas imbuhan airtanah melalui media interstitial dan makropori terjadi di CAT Ciater, 29,75% airtanah di CAT Ciater berasal dari imbuhan melalui media makropori dan sisanya sebagian besar melalui media interstitial (pori batuan). Sedangkan Non-CAT yang dianggap tidak dapat meloloskan dan menyimpan airtanah, tetapi dapat menyimpan airtanah melalui media makropori dengan nilai 53% dan sisanya melalui media interstitial. Di CAT Subang tidak terdapat imbuhan airtanah melalui media makropori, imbuhan hanya melalui media interstitial. Berdasarkan pendekatan metode CMB secara regional dengan parameter estimasi melibatkan ketiga zona (CAT Ciater, Non-CAT, dan CAT Subang), menunjukkan adanya implikasi antara sampel di Selatan Sesar Baribis dengan Utara Sesar Baribis. Transfer airtanah secara regional menunjukkan kemampuan Sesar Baribis untuk dapat meloloskan airtanah pada konsep Mountain Recharge System (MSR).

Kata Kunci: Mountain Recharge System, Mountain Front Recharge, Mountain Block Recharge, Kesetimbangan Massa Klorida.

1. Pendahuluan

Kondisi hidrogeologi Kabupaten Subang memiliki kompleksitas tersendiri, mengacu pada Permen ESDM Nomor 2 Tahun 2017 bahwasanya CAT Subang berbatasan dengan zona NonCAT, pembagian batas tersebut berdasarkan keberadaan Sesar Baribis yang dianggap penghalang aliran airtanah. Tetapi, berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wahi et al (2008) menyatakan bahwa suatu sesar dapat bertindak sebagai penghalang atau penyalur aliran airtanah. Oleh sebab itu, aktivitas geologi yang berlangsung memiliki andil yang cukup besar terhadap kontrol hidrogeologi daerahnya, dalam konteks ini pengaruh Sesar Baribis terhadap aliran airtanah CAT Ciater - CAT Subang. Mengutip dari Wahi et al (2008) sebagaimana konsep aliran airtanah dan mekanisme imbuhan pada Mountain Recharge System (MSR), dapat dibedakan dengan infiltrasi aliran di zona depan-gunung atau Mountain Front Recharge (MFR) dan aliran bawah permukaan dari gunung menuju cekungan atau Mountain Block Recharge (MBR), keberadaan Sesar Baribis mempengaruhi kontrol aliran airtanah menjadi MFR

atau MBR, bahkan gabungan dari keduanya. Keberadaan Sesar Baribis dapat mempengaruhi sistem aliran airtanah menjadi lebih kompleks mempengaruhi tingkat porositas sekunder pada batuan untuk lebih mudah meloloskan air melalui makropori.

Pengetahuan akan sistem aliran airtanah di daerah penelitian sangat penting untuk mengetahui pengaruh Sesar Baribis terhadap kontrol aliran airtanah, bersifat MFR atau MBR. Metode kesetimbangan massa Klorida dapat memberikan perkiraan MSR secara menyeluruh

ketika analisis dilakukan di zona MFR (Dettinger, 1989).

Penelitian ini ditujukan untuk mengkaji pengaruh sesar terhadap mekanisme imbuhan dan aliran airtanah:

1. Mengetahui pengaruh Sesar Baribis dan sesar lain di sekitarnya (Sesar Talagasari dan Sesar Wanareja) terhadap kemampuesapan air hujan menjadi airtanah melalui media makropori (rekahan) di daerah zona sesar (CAT Ciater, Non-CAT, dan CAT Subang), menggunakan pendekatan CMB untuk mengestimasi adanya nilai imbuhan makropori.
2. Mengetahui pengaruh Sesar Baribis terhadap kontrol aliran airtanah pada konsep Mountain Recharge System, menggunakan pendekatan CMB secara regional untuk mengetahui keberadaan aliran antarcekungan yang ditransfer melewati Sesar Baribis.
3. Mengestimasi nilai airtanah yang disuplai dari CAT Ciater, Non-CAT dan ke CAT Subang dengan menggunakan metode CMB secara regional.

2. Metodologi

Pengaruh Struktur Terhadap Aliran Antara Cekungan Airtanah

Secara hidrogeologi ada tiga (3) jenis kondisi aliran airtanah yang dipengaruhi oleh sesar, berdasarkan sifat sesar, yaitu sebagai saluran hidrolis, penghambat terhadap aliran airtanah, dan sistem gabungan seperti zona kebocoran relatif terhadap akuifer yang berdekatan (Antonellini dan Aydin 1994; Caine *et al.*, 1996), klasifikasi tersebut didasarkan pada permeabilitas zona patahan, porositas dan konektivitas pori-pori atau media rekahan. Zona sesar dapat bertindak sebagai saluran lokal atau penghalang aliran airtanah tergantung pada sifat arsitektur sesarnya.

Banyak akuifer dari suatu cekungan airtanah mendapatkan imbuhan air dari pegunungan terdekat, disebabkan oleh daerah pegunungan mendapatkan manfaat curah hujan tinggi dan kondisi evapotranspirasi yang lebih rendah (Etienne *et al.*, 2018). Menurut Wahi *et al.* (2008), dua mekanisme imbuhan di daerah pegunungan dapat dikenali dengan *Mountain Front Recharge* (MFR) yaitu sebagian besar terdiri dari infiltrasi aliran di zona depan-gunung, dan *Mountain Block Recharge* (MBR) sebagai aliran bawah permukaan dari gunung menuju cekungan airtanah, atau gabungan dari kedua mekanisme yaitu *Mountain Recharge System* (MSR). Konseptualisasi sistem airtanah cekungan sangat tergantung pada imbuhan yang terjadi melalui MFR atau MBR, karena masing-masing mekanisme ini menyiratkan jalur aliran airtanah yang berbeda, baik umur airtanah maupun karakteristik geokimianya.

Keseimbangan Massa Klorida (CMB) untuk Estimasi Imbuhan Airtanah

Aplikasi neraca massa Klorida konvensional (CMB) merupakan metode untuk penentuan area imbuhan (*recharge*) cekungan airtanah, secara substansial merupakan perkiraan rata-rata nilai imbuhan periode tahunan. Hasil dari analisis CMB terbukti dapat memperkirakan nilai imbuhan dalam jangka panjang untuk cekungan airtanah yang dicirikan oleh kedua area imbuhan, sebagai alternatif dari perhitungan hukum Darcy. Metode CMB merupakan salah satu cara yang paling umum digunakan untuk estimasi nilai imbuhan airtanah. Konsep dasar dari metode CMB menyatakan bahwa Klorida yang masuk dari air hujan, deposisi kering, konsentrasi dalam airtanah residual melalui proses evapotranspirasi, (Allison *et al.*, 1978; Allison, 1988; Guan *et al.*, 2010). Metode CMB dapat digunakan untuk zona jenuh (Wood *et al.*, 1995), yaitu dengan mengukur konsentrasi Klorida tanah atau zona tidak jenuh. Perbedaan utama penggunaan metode CMB di zona karst dan akuifer non-karst yaitu pada dualitas dalam porositas dan infiltrasinya.

Nyagawambo (2006) menurunkan persamaan CMB konvensional pada keseimbangan massa Klorida untuk menentukan nilai imbuhan, yaitu:

$$R = \frac{P \cdot C_p}{C_g}$$

Dengan R adalah nilai imbuhan (L/T), C_p adalah konsentrasi rata-rata Klorida

representatif dalam air hujan, serta C_g adalah konsentrasi Klorida dalam airtanah (M/L^3) dihasilkan dari penggunaan imbuhan dalam kesetimbangan dengan konsentrasi Klorida zona tidak jenuh (Walker *et al.*, 1991; Cook *et al.*, 1992). Wood *et al.* (1997) mengklasifikasikan mode resapan airtanah ke *interstitial* (matriks) dan makropori (kekar, sesar, dan lubang alami lainnya).

Wood *et al.* (1997) melakukan estimasi imbuhan airtanah di cekungan Playa dengan pengaruh aliran makropori regional menggunakan persamaan berikut:

$$Q_t = Q_{ib} + Q_{mb} + Q_{ir} + Q_{mr}$$

Dengan Q_t sebagai total rata-rata imbuhan tahunan airtanah dari semua sumber (L^3/T), Q_{ir} adalah rata-rata laju aliran volumetri imbuhan tahunan airtanah dari daerah aliran awal antara cekungan (L^3/T), dan Q_{mr} sebagai imbuhan tahunan airtanah dari rata-rata laju aliran volumetri makropori di permukaan cekungan (L^3/T). Parameter lain didefinisikan dalam persamaan sebelumnya. Secara regional, makropori di antara permukaan cekungan diasumsikan merupakan daerah imbuhan yang sangat kecil, relatif ke total area, nilai Q_{mr} harus kecil dan diabaikan dalam analisis. Bentuk penjabaran dari persamaan itu adalah:

$$R_t \cdot A_t = R_{ib} \cdot A_{ib} + R_{mb} \cdot A_{mb} + R_{ir} \cdot A_{ir}$$

A_{ib} merupakan luas permukaan cekungan dengan imbuhan *interstitial*, A_{mb} merupakan luas permukaan cekungan dengan imbuhan makropori, sedangkan A_{ir} mewakili luas area antara cekungan. Persamaan berikut memberikan persentase imbuhan secara regional sebagai kombinasi antara daerah fluks *interstitial* (R_{ib}) dan fluks imbuhan makropori (R_{mb}). R_{ir} dan R_{mb} tidak dapat langsung ditentukan dengan hanya menggunakan satu persamaan. Namun, bila mempertimbangkan keseimbangan massa Klorida dalam kombinasinya dengan metode neraca air, mungkin untuk memisahkan lebih jauh antara imbuhan makropori dan *interstitial* dari total aliran. Neraca massa Klorida dalam sistem ini dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

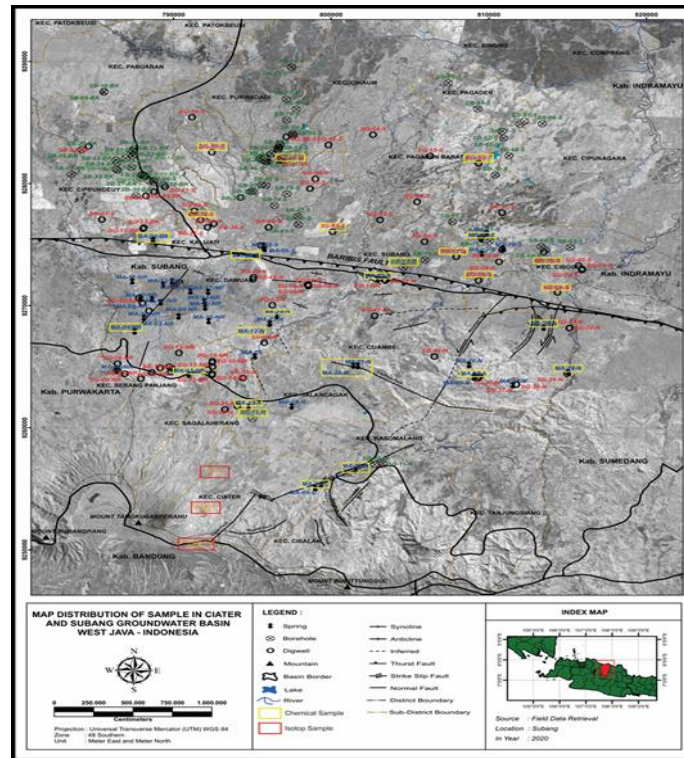
$$R_t \cdot A_t \cdot C_{lt} = R_{ib} \cdot A_{ib} \cdot C_{lib} + R_{mb} \cdot A_{mb} \cdot C_{lmb} + R_{ir} \cdot A_{ir} \cdot C_{lir}$$

Di mana C_{lt} sebagai rata-rata konsentrasi Klorida dalam airtanah, C_{lib} sebagai rata-rata konsentrasi Klorida dalam aliran *interstitial* di bawah cekungan, C_{lir} sebagai rata-rata konsentrasi Klorida di aliran awal antara cekungan, dan C_{lmb} merupakan rata-rata konsentrasi Klorida dalam aliran makropori di cekungan, semuanya dinyatakan dalam (M/L^3). R_t sebagai rata-rata total imbuhan secara regional, R_{ib} sebagai imbuhan *interstitial* di cekungan, R_{mb} sebagai imbuhan makropori di cekungan, dan R_{ir} merupakan imbuhan antara cekungan, semuanya dinyatakan dalam (L/T). A_t sebagai persentase luasan area total secara regional.

3. Pembahasan dan Diskusi

Lokasi Penelitian

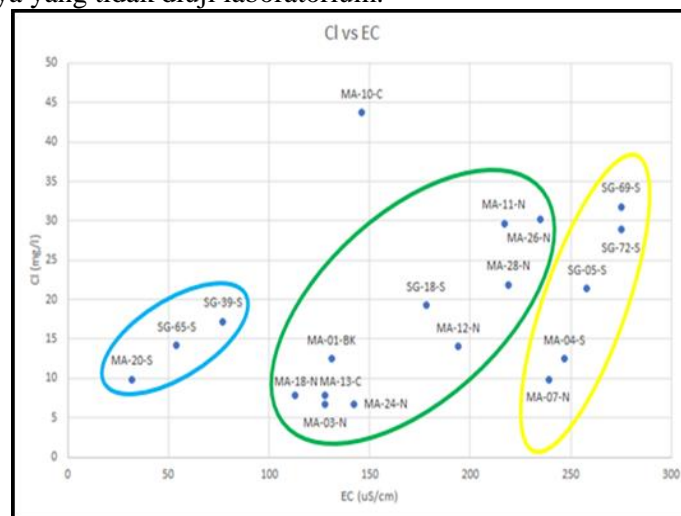
Penelitian dilakukan di wilayah Kabupaten Subang Provinsi Jawa Barat. Meninjau pada Permen ESDM Nomor 2 Tahun 2017, di Kabupaten Subang terdapat dua (2) Cekungan Air Tanah (CAT) yang dipisahkan oleh zona *NonCAT*. Sampling air dilakukan di 28 lokasi, meliputi 16 sampel mata air, 9 sampel sumur gali, 2 sampel sumur bor, dan 1 sampel air hujan. Lokasi pengambilan sampel ditentukan berdasarkan arah aliran airtanah dan analisis isotop untuk air hujan. Pengujian konsentrasi unsur Klorida (Cl^-) pada sampel airtanah dan air hujan dilakukan di laboratorium. Konsentrasi unsur Klorida (Cl^-) digunakan untuk mengestimasi suplai airtanah antara CAT Ciater - CAT Subang dengan metode *Chloride Mass Balance*.



Gambar 1. Peta Sebaran Lokasi Pengambilan Sampel

Hubungan EC vs Cl⁻ pada Aliran Airtanah untuk Menentukan Konsentrasi Unsur Klorida Airtanah

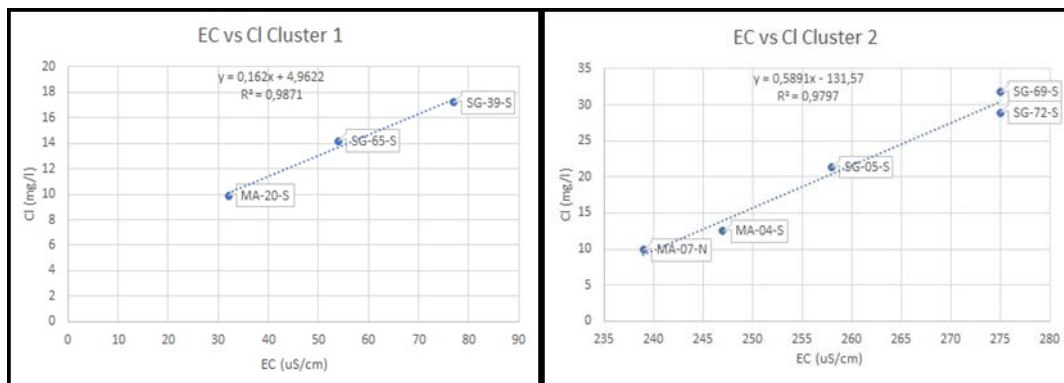
Pengukuran sifat kimia-fisik airtanah meliputi temperatur, pH, TDS, dan EC pada sumur gali, sumur bor, dan mata air. Dari empat parameter yang diukur, fokus penelitian lebih mengutamakan terhadap nilai *Electrical Conductivity* (EC) yang berkorelasi secara linier terhadap konsentrasi unsur Klorida, terkelompokkan sesuai sifat dan karakteristik aliran airtanahnya (Abyaneh, 2005), untuk menentukan konsentrasi unsur Klorida di lokasi pengamatan lainnya yang tidak diuji laboratorium.



Gambar 2. EC vs Cl⁻ Seluruh Cluster

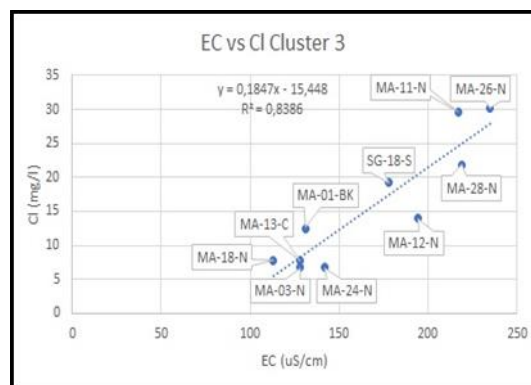
Secara *general*, pada penelitian ini korelasi antara nilai EC dengan konsentrasi unsur Klorida (Cl⁻) dibagi menjadi tiga (3). Cluster 1 dan 2 memiliki klasifikasi Analisis Regresi

Linier (ARL) mendekati sempurna karena bernilai koefisien $> 0,90$, sedangkan *cluster 3* memiliki klasifikasi ARL sangat kuat karena bernilai koefisien di antara $0,70 - 0,89$, berdasarkan klasifikasi D.A de Vaus (2002).



Gambar 3. EC vs Cl⁻ Cluster 1

Gambar 4. EC vs Cl⁻ Cluster 2



Gambar 5. EC vs Cl⁻ Cluster 3

Cluster 1 memiliki nilai EC yang rendah, dapat merepresentasikan aliran airtanah lokal yang mengalami infiltrasi dengan waktu singkat. Cluster 2 memiliki nilai EC yang lebih tinggi dibandingkan cluster 1, dan keterdapatannya juga berada pada pengaruh zona struktur. Cluster 3 memiliki nilai EC yang moderat dibandingkan cluster 1 dan 2, serta keterdapatannya juga berada pada pengaruh zona struktur yang tidak terlalu signifikan bila dibandingkan cluster 2. Untuk menentukan nilai konsentrasi Cl⁻ di lokasi lainnya yang bersifat sama terhadap cluster tertentu dapat menggunakan persamaan hasil regresinya.

Estimasi Imbuhan Airtanah di Setiap Zona dengan Metode CMB

Estimasi imbuhan airtanah pada penelitian ini dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu secara lokal setiap zona CAT dan *NonCAT* dan keseluruhan (regional). Estimasi secara lokal menggunakan persamaan 1, secara regional menggunakan persamaan 3 dan 4.

1. Estimasi Imbuhan Airtanah Secara Lokal CAT Ciater

Imbuhan airtanah di CAT Ciater melalui dua media, yaitu *interstitial* (pori batuan) dan makropori (*fracture*).

Diketahui:

$$P = 3.008 \text{ mm/y}$$

$$C_p = 6.080 \text{ mg/l}$$

$$C_g = 11.22 \text{ mg/l}$$

$$C_{uz} = 15.98 \text{ mg/l}$$

$$\text{Imbuhan Total (Qtb)} = \frac{3.008 \text{ mm/y} \times 6,08 \text{ mg/l}}{11,22 \text{ mg/l}} = 1.629,27 \text{ mm/y}$$

$$\text{Imbuhan Interstitial (Qib)} = \frac{3.008 \text{ mm/y} \times 6,08 \text{ mg/l}}{15,98 \text{ mg/l}} = 1.144,47 \text{ mm/y (70,25\%)}$$

$$\begin{aligned} \text{Imbuhan Makropori (Qmb)} &= \text{Qtb} - \text{Qib} \\ &= 1.629,27 \text{ mm/y} - 1.144,47 \text{ mm/y} = 484,8 \text{ mm/y (29,75\%)} \end{aligned}$$

2. Estimasi Imbuhan Airtanah Secara Lokal Non-CAT

Sama dengan CAT Ciater, imbuhan airtanah di NonCAT melalui dua media, yaitu *interstitial* (pori batuan) dan makropori (*fracture*).

Diketahui: $C_g = 13.29 \text{ mg/l}$

$C_{uz} = 28.13 \text{ mg/l}$

$$\text{Imbuhan Total (Qtb)} = \frac{3.008 \text{ mm/y} \times 6,08 \text{ mg/l}}{13,29 \text{ mg/l}} = 1.376,12 \text{ mm/y}$$

$$\text{Imbuhan Interstitial (Qib)} = \frac{3.008 \text{ mm/y} \times 6,08 \text{ mg/l}}{28,13 \text{ mg/l}} = 650,14 \text{ mm/y (47\%)}$$

$$\begin{aligned} \text{Imbuhan Makropori (Qmb)} &= \text{Qtb} - \text{Qib} \\ &= 1.376,12 \text{ mm/y} - 650,14 \text{ mm/y} = 725,98 \text{ mm/y (53\%)} \end{aligned}$$

3. Estimasi Imbuhan Airtanah Secara Lokal CAT Subang

Imbuhan airtanah di CAT Subang hanya melalui media *interstitial* (pori batuan), dibuktikan dengan konsentrasi Klorida di *unsaturated zone* (C_{uz}) yang memiliki nilai lebih kecil dibandingkan konsentrasi Klorida dalam airtanah (C_g), pembahasan lebih lengkap dapat dilihat pada bab selanjutnya.

Diketahui:

$C_g = 17.34 \text{ mg/l}$

$C_{uz} = 9.9 \text{ mg/l}$

$$\text{Imbuhan Total (Qtb)} = \frac{3.008 \text{ mm/y} \times 6,08 \text{ mg/l}}{17,34 \text{ mg/l}} = 1.054,71 \text{ mm/y}$$

4. Estimasi Imbuhan Airtanah Secara Regional

Imbuhan airtanah secara regional melibatkan konektivitas dari ketiga zona (CAT Ciater, Non-CAT, dan CAT Subang). Diketahui: R_t 1353,36 mm/y; A_t 1 (mewakili persentase luasan area total secara regional); R_{ib} 1.054,71 mm/y; A_{ib} 0,613 (persentase luasan area CAT Subang); A_{mb} 0,229 (persentase luasan area CAT Ciater); A_{ir} 0,158 (persentase luasan area Non-CAT); C_{lt} 15,50 mg/l; C_{lib} 17,34 mg/l; C_{lir} 14,38 mg/l; dan C_{lmb} 6.08 mg/l.

$$(1353,36 \text{ mm/y}) (1) = (1.054,71 \text{ mm/y}) (0,613) + (R_{mb}) (0,229) + (R_{ir}) (0,158)$$

$$0,158 R_{ir} + 0,229 R_{mb} = 706,82 \text{ mm/y} \dots (I)$$

$$(1353,36 \text{ mm/y}) (1) (15,50 \text{ mg/l}) = (1.054,71 \text{ mm/y}) (0,613) (17,34 \text{ mg/l}) +$$

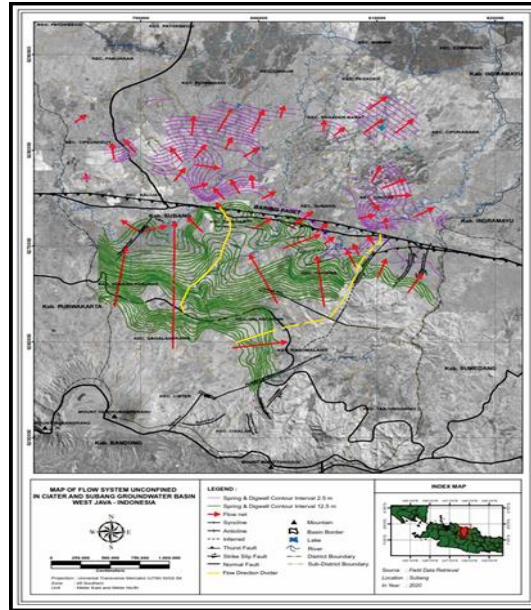
$$(R_{mb}) (0,229) (6,08 \text{ mg/l}) + (R_{ir}) (0,158) (14,38 \text{ mg/l})$$

$$2,27 R_{ir} + 1,4 R_{mb} = 9.766,12 \text{ mm/y} \dots (II)$$

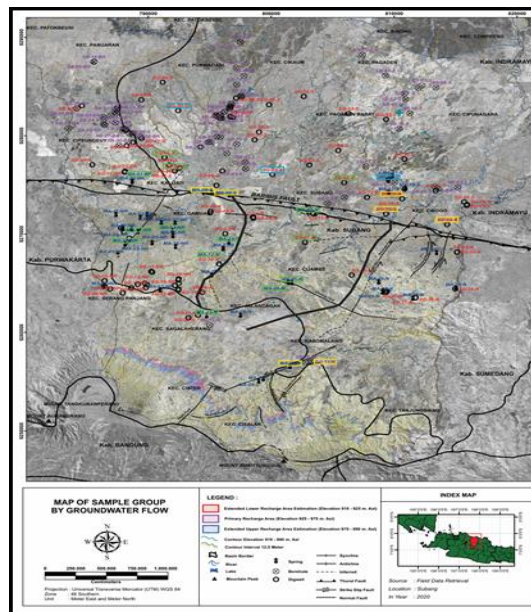
Dengan menggunakan hasil dari persamaan (I) dan (II) dapat dieliminasi dan diketahui nilai imbuhan antarcekungan sebesar 656,69 mm/y atau 47,72% dari keterdapatan airtanah di NonCAT. Imbuhan total di NonCAT yaitu 1.376,12 mm/y dan mengalir ke CAT Subang 656,69 mm/y.

Segmentasi Zona Sesar untuk Menentukan Tingkat Kebocoran Setiap Segmen dalam Transfer Airtanah CAT Ciater ke CAT Subang

Segmentasi zona sesar dilakukan untuk pembuktian secara detail tingkat kebocoran airtanah dari CAT Ciater ke CAT Subang, bagian mana dari zona tersebut yang menyuplai transfer airtanah paling tinggi atau sebaliknya. Berdasarkan pembahasan sebelumnya, imbuhan airtanah secara regional melibatkan konektivitas dari ketiga zona (CAT Ciater, Non-CAT, dan CAT Subang). Penentuan segmen berdasarkan arah aliran airtanah dari CAT Ciater ke CAT Subang yang secara general terbagi menjadi tiga (3) segmen yaitu Barat, Tengah, dan Timur.



Gambar 6. Peta Segmentasi Zona Sesar



Gambar 7. Peta Kelompok Sampel Berdasarkan Aliran Airtanah

Sampel dalam jalur aliran yang sama dikelompokkan dalam *cluster* yang sama juga berdasarkan hubungan EC vs Cl⁻. Untuk memperkuat hipotesis bahwa setiap segmen dapat mentransfer airtanah melewati Sesar Baribis, dilakukan juga T-test terhadap data di Selatan Sesar dan Utara Sesar pada setiap *cluster* di masing-masing segmen.

Tabel 1. Uji T Berdasarkan Nilai EC dan Cl⁻ Sampel Selatan dan Utara Sesar di Segmen Barat

Group 1: Selatan Sesar & Group 2: Utara Sesar

Var	<u>Mean</u>	<u>Mean</u>	<u>t-value</u>	<u>df</u>	<u>p</u>	<u>Valid N</u>	<u>Valid N</u>	<u>Std.Dev</u>	<u>Std.Dev</u>	<u>F-ratio</u>	<u>p</u>
	<u>Selatan Sesar</u>	<u>Utara Sesar</u>				<u>Selatan Sesar</u>	<u>Utara Sesar</u>	<u>Selatan Sesar</u>	<u>Utara Sesar</u>		
CI	11,596	8,220	0,989	5	0,368	5	2	3,414	6,053	3,144	0,302
EC	157,414	118,000	2,092	5	0,091	5	2	23,432	18,385	1,624	1,000

T-tests: Grouping: Kode (Pengujian Segmen Barat) Group 1: Selatan Sesar & Group 2: Utara Sesar											
Variable	Mean Selatan Sesar	Mean Utara Sesar	t-value	df	p	Valid N Selatan Sesar	Valid N Utara Sesar	Std.Dev. Selatan Sesar	Std.Dev. Utara Sesar	F-ratio VariANCES	p VariANCES
CI	11,5960	8,2200	0,988876	5	0,368132	5	2	3,41376	6,05283	3,143783	0,301796
EC	157,4140	118,0000	2,092508	5	0,090611	5	2	23,43175	18,38478	1,624399	1,000000

Tabel 2. Uji T Berdasarkan Nilai EC dan CI Sampel Selatan dan Utara Sesar di Segmen Tengah

Group 1: Selatan Sesar & Group 2: Utara Sesar

Var	<u>Mean</u>	<u>Mean</u>	<u>t-value</u>	<u>df</u>	<u>p</u>	<u>Valid N</u>	<u>Valid N</u>	<u>Std.Dev</u>	<u>Std.Dev</u>	<u>F-ratio</u>	<u>p</u>
	<u>Selatan Sesar</u>	<u>Utara Sesar</u>				<u>Selatan Sesar</u>	<u>Utara Sesar</u>	<u>Selatan Sesar</u>	<u>Utara Sesar</u>		
CI	26,213	8,010	2,427	2	0,136	3	1	6,495	0,000	0,000	1,000
EC	212,333	127,000	2,918	2	0,100	3	1	25,324	0,000	0,000	1,000

T-tests: Grouping: Kode (Pengujian Segmen Tengah) Group 1: Selatan Sesar & Group 2: Utara Sesar											
Variable	Mean Selatan Sesar	Mean Utara Sesar	t-value	df	p	Valid N Selatan Sesar	Valid N Utara Sesar	Std.Dev. Selatan Sesar	Std.Dev. Utara Sesar	F-ratio VariANCES	p VariANCES
CI	26,2133	8,0100	2,427323	2	0,135954	3	1	6,49462	0,00	0,00	1,000000
EC	212,3333	127,0000	2,918149	2	0,100108	3	1	25,32456	0,00	0,00	1,000000

Tabel 3. Uji T Berdasarkan Nilai EC dan CI Sampel Selatan dan Utara Sesar di Segmen Timur
Group 1: Selatan Sesar & Group 2: Utara Sesar

Var	<u>Mean</u>	<u>Mean</u>	<u>t-value</u>	<u>df</u>	<u>p</u>	<u>Valid N</u>	<u>Valid N</u>	<u>Std.Dev</u>	<u>Std.Dev</u>	<u>F-ratio</u>	<u>p</u>
	<u>Selatan Sesar</u>	<u>Utara Sesar</u>				<u>Selatan Sesar</u>	<u>Utara Sesar</u>	<u>Selatan Sesar</u>	<u>Utara Sesar</u>		
CI	26,2133	8,0100	2,427323	2	0,135954	3	1	6,49462	0,00	0,00	1,000000
EC	212,3333	127,0000	2,918149	2	0,100108	3	1	25,32456	0,00	0,00	1,000000

CI	14,2	17,0	-	4	0,697	2	4	6,18	7,92	1,64	1,000
	75	08	0,41					7	5	0	
			9								
EC	247,	245,	0,08	4	0,934	2	4	11,3	25,5	5,08	0,625
	000	250	8					14	13	5	

Hasil uji T *independent by group* menghasilkan kesimpulan tidak ada bukti kuat yang menolak implikasi antara sampel di Selatan Sesar Baribis dengan di Utara Sesar Baribis berdasarkan parameter dari sampel yang diuji yaitu EC dan CI. P_{value} untuk parameter EC dan CI di tiga segmen bernilai > 0,05, secara hipotesis ada implikasi antara sampel di Selatan Sesar Baribis dengan di Utara Sesar Baribis (Ho diterima dan Ha ditolak).

T-tests; Grouping: Kode (Pengujian Segmen Timur)											
Group 1: Selatan Sesar & Group 2: Utara Sesar											
Variable	Mean	Mean	t-value	df	p	Valid N	Valid N	Std.Dev.	Std.Dev.	F-ratio	p
	Selatan Sesar	Utara Sesar				Selatan Sesar	Utara Sesar	Selatan Sesar	Utara Sesar	Variances	Variances
CI	14,2750	17,0075	-0,419133	4	0,696649	2	4	6,18718	7,92465	1,640492	1,000000
EC	247,0000	245,2500	0,088599	4	0,933659	2	4	11,31371	25,51307	5,085286	0,625053

Selanjutnya, untuk mengestimasi tingkat kebocoran atau transfer airtanah di setiap segmen dilakukan ~~dengan~~ menggunakan metode CMB, mengelompokkan data konsentrasi Klorida di masing-masing segmen. Nilai transfer airtanah dari CAT Ciater ke CAT Subang telah diketahui melalui persamaan estimasi imbuhan airtanah secara regional yaitu 656,69 mm/y, sebagai akumulasi dari transfer airtanah melalui ketiga segmen, dan rata-rata konsentrasi Klorida di alirannya yaitu 14,38 mg/l. ~~Dapat di~~estimasi menggunakan rata-rata konsentrasi Klorida ~~di~~ setiap segmen. Diketahui: Konsentrasi CI di Segmen Barat 9,4 mg/l; Konsentrasi CI di Segmen Tengah 22 mg/l; Konsentrasi CI di Segmen Timur 16 mg/l; Persentase Luasan Segmen Barat 28% (0,28); Persentase Luasan Segmen Tengah 32,3% (0,323); dan Persentase Luasan Segmen Timur 39,7% (0,397).

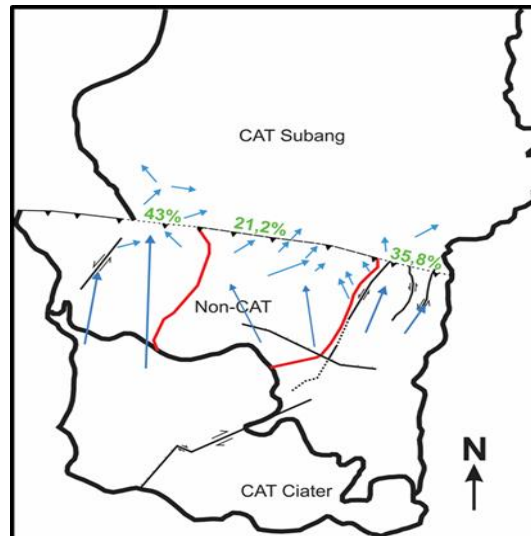
$$\text{Contoh Segmen Barat} = \left(\frac{656,69 \text{ mm/y} \times 14,38 \text{ mg/l}}{9,4 \text{ mg/l}} \right) \times 0,28 = 281,3 \text{ mm/y}$$

$$\text{Total Transfer Airtanah} = \text{Segmen Barat} + \text{Segmen Tengah} + \text{Segmen Timur} \\ = (281,3 + 138,6 + 234,3) \text{ mm/y} = 654,2 \text{ mm/y}$$

Tabel 4. Nilai Volumetri Transfer Airtanah (m³/y)

Segmentasi	Transfer Airtanah	Persentase
Barat	109.961.013,9	43%
Tengah	54.179.155,8	21,2%
Timur	91.588.572,9	35,8%
Total	255.728.742,6	100%

Penelitian ini menyatakan bahwa Sesar Baribis berperan sebagai penyalur aliran airtanah, setiap segmen zona sesar memiliki tingkat kebocoran yang berbeda, keberadaan sesar lainnya seperti Sesar Talagasari di segmen Barat dan Sesar Wanareja di segmen Timur mempengaruhi tingkat kebocoran airtanah. Sesar Baribis di segmen Barat memiliki panjang 4,9 km yang mana nilainya paling rendah dibandingkan segmen Timur 5,7 km, atau segmen Tengah paling panjang bernilai 13,7 km. Namun, suplai airtanah melalui segmen Barat bernilai paling tinggi yaitu 109.961.013,9 m³/y (43%), segmen Timur bernilai 91.588.572,9 m³/y (35,8%), dan segmen Tengah dengan keberadaan Sesar Baribis terpanjang memiliki nilai suplai airtanah paling rendah yaitu 54.179.155,8 m³/y (21,2%). Asumsi ilmiah bahwa keberadaan Sesar Talagasari di segmen Barat dan Sesar Wanareja di segmen Timur meningkatkan potensi aliran airtanah melalui media makroporinya.



Gambar 8. Skema Transfer Airtanah CAT Ciater - CAT Subang

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan kajian yang telah dilakukan, secara umum dapat disimpulkan, Keberadaan Sesar Baribis dan sesar lain di sekitarnya (Sesar Talagasari dan Sesar Wanareja) secara simultan mempengaruhi kemampuresapan air hujan menjadi airtanah melalui media makropori (rekahan) di daerah zona sesar CAT Ciater dan NonCAT. Rekahan yang intens di zona tersebut meningkatkan potensi bagi air hujan untuk meresap menjadi airtanah melalui media rekahan (makropori). Berdasarkan pendekatan metode CMB secara regional dengan parameter estimasi melibatkan ketiga zona (CAT Ciater, Non-CAT, dan CAT Subang) dan hasil uji T berdasarkan parameter EC dan Cl- di setiap segmen (Barat, Tengah, dan Timur) yang menunjukkan adanya implikasi antara sampel di Selatan Sesar Baribis dengan Utara Sesar Baribis. Aliran airtanah secara regional melibatkan konektivitas dari ketiga zona, transfer airtanah secara regional menunjukkan kemampuan Sesar Baribis untuk dapat meloloskan airtanah pada konsep Mountain Recharge System (MSR). Nilai imbuhan secara regional yang disuplai dari CAT Ciater melalui NonCAT dan pada akhirnya terakumulasi di CAT Subang sebesar 47,72% yaitu 656,69 mm/y dari imbuhan total di NonCAT yaitu 1.376,12 mm/y dan mengalir ke CAT Subang 656,69 mm/y, pada curah hujan 3.008 mm/y. Hasil estimasi menggunakan metode CMB menunjukkan ketiga segmen dapat mengalirkan airtanah melalui media makropori. Segmen Barat menyuplai kebocoran airtanah paling tinggi dengan nilai 43% dari transfer keseluruhan secara regional, segmen Timur menyuplai 35,8%, dan segmen Tengah bernilai paling rendah menyuplai 21,2%.

Acknowledge

1. Allah SWT dan Rasulullah SAW, puji dan syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan rahmat-Nya penelitian ini dapat terselesaikan.
2. Diri Sendiri, bentuk apresiasi karena telah berusaha menyelesaikan penelitian, walaupun jauh dari kesan sempurna tetapi tetap berusaha semaksimal mungkin.
3. Kedua Orangtua dan Keluarga, selalu memberikan dukungan moril dan materiil.
4. Dosen dan Staf Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, UNISBA. Kepada jajaran Dosen yang telah memberikan didikan dan ajaran serta staf Prodi Teknik Pertambangan yang telah memberikan pelayanan.

Daftar Pustaka

- [1] Abyaneh, H. Z, et al. 2005. "Chloride Estimation in Groundwater from Electrical Conductivity Measurement". Tarim Bilimleri Dergisi.11, 110-114.

- [2] Allison, et al. 1994. "Unsaturated Zone Tritium and Chlorine 36 Profiles from Southern Australia: Their Use as Tracers of Soil Water Movement". *Water Resources Research*. 30 (6), 1709-1719.
- [3] Anderson, V.G. 1945. "Some Effects of Atmospheric Evaporation and Transpiration on the Composition of Natural Waters in Australia". *Journal Proc Austr Chem Inst*. 12, 41-68, 83-98.
- [4] Antonellini, et al. 1994. "Microstructure of Deformation Bands in Porous Sandstones at Arches National Park, Utah". *Journal of Structural Geology*. 16, 9410-959.
- [5] Ashari, Yunus. 2014. *Kontrol Struktur Sesar Terhadap Hidrokimia Airtanah di Cekungan Bandung Bagian Timur*. Disertasi Doktor. Universitas Padjadjaran, Bandung.
- [6] Aydin, O and Yang, W. 2000. "Natural Convection in Enclosures with Localized Heating from Below and Symmetrical Cooling from Sides". *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow*. 10 (5), 518-529.
- [7] Bemmelen, R.W., van. 1949. "The Geology of Indonesia, The Hague Martinus Nijhoff". Volume 1A.
- [8] Bernoulli, Daniel dan Bernoulli, Johann. 2005. *Hydrodynamics and Hydraulics*. Northwestern University: Dover Publications.
- [9] Caine, et al. 1996. "Fault Zone Architecture and Permeability Structure". *Journal of Geology*. 24 (11), 1025-1028.
- [10] Caine, J. S and Forster, C. B. 1999. *Fault Zone Architecture and Fluid Flow: Insights from Field Data and Numerical Modeling*. Geophysical Monograph Series, 101-127.
- [11] Cook, P. G, et al. 1992. "Estimating Paleo-Recharge and Paleo-Climate from Unsaturated Zone Profiles". *Water Resources Research*. 28, 2721-2731.
- [12] D.A. de Vaus. 2002. *Survey in Social Research 5th Edition*. New South Wales: Allen and Unwin.
- [13] Dettinger, Michael D. 1989. "Reconnaissance Estimates of Natural Recharge to Desert Basins in Nevada, USA, by Using Chloride-Balance Calculations". *Journal of Hydrology*. 106, 55-78.
- [14] Eriksson, Erik, and V. Khunakasem. 1969. "Chloride Concentration in Groundwater, Recharge Rate and Rate of Deposition of Chloride in Israel Coastal Plain". *Journal of Hydro*. 7, 178-197.
- [15] Etienne, Bresciani, et al. 2018. "Using Hydraulic Head, Chloride and Electrical Conductivity Data to Distinguish Between Mountain-Front and Mountain-Block Recharge to Basin Aquifers". *Hydrology and Earth System Sciences*. 22 (2), 1629-1648.
- [16] Guan, et al. 2010. "Catchment Conceptualisation for Examining Applicability of Chloride Mass Balance Method in an Area with Historical Forest Clearance". *Hydrology and Earth System Sciences*. 14 (7), 1233-1245.
- [17] Lin, et al. 2015. "Impact of Fault Structures on the Occurrence of Groundwater in Fractured Rock Aquifers". *Water Research Commission*. University of the Western Cape, South Africa.
- [18] Martodjojo, S. 1984. *Evolusi Cekungan Bogor Jawa Barat*. Disertasi Doktor. Fakultas Pascasarjana Institut Teknologi Bandung.
- [19] Nyagawambo, N.L. 2006. *Groundwater Recharge Estimation and Water Resources Assessment in a Tropical Crystalline Basement Aquifer*. Disertasi Doktor. The Delft University of Technology and of the Academic Board of the UNESCO-IHE Institute for Water Education.
- [20] Toth. 1999. "Groundwater as a Geologic Agent: An Overview of the Causes, Processes, and Manifestations". *Hydrogeology Journal*. 7(1), 1-14.
- [21] Wahi, et al. 2008. "Geochemical Quantification of Semiarid Mountain Recharge". *Journal of Groundwater*. 46 (3), 414-425.
- [22] Walker, et al. 1991. "A New Chloride Leaching Approach to the Estimation of Diffuse

Recharge Following a Change in Land Use. *Journal of Hydrology (Amsterdam)*. 128, 49-67.

- [23] Wilson, J.L and H. Guan. 2004. "Mountain-Block Hydrology and Mountain-Front Recharge in Groundwater Recharge in a Desert Environment: The Southwestern United States". Ed by Phillips, F.M, Hogan, J and Bridget Scanlon. AGU. Washington, DC.
- [24] Wood, et al. 1997. "Quantifying Macropore Recharge: Examples from a Semi-Arid Area". *Ground Water*. 35 (6), 1097-1106.
- [25] Wood, W. 1999. "Use and Misuse of the Chloride Mass Balance Method in Estimating Groundwater Recharge". *Technical Commentary. Ground Water*. 37 (1).
- [26] Prahasta Guntur Indra, Yuliadi, Moralista Elfida. (2021). *Redesign Geometri Lereng Penambangan Batugamping Kuari C di PT X Kecamatan Palimanan Kabupaten Cirebon Provinsi Jawa Barat*. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 1(1), 30-38.