

# ESTIMASI DAN KLASIFIKASI SUMBER DAYA EMAS BERDASARKAN PEMODELAN GEOLOGI 3D MENGUNAKAN METODE ORDINARY KRIGING PADA PROSPEK X, GARUT, PT ANTAM Tbk

*by* Surya Darma Hafiz



# ESTIMASI DAN KLASIFIKASI SUMBER DAYA EMAS BERDASARKAN PEMODELAN GEOLOGI 3D MENGGUNAKAN METODE *ORDINARY KRIGING* PADA PROSPEK X, GARUT, PT ANTAM Tbk

## *GOLD RESOURCE ESTIMATION AND CLASSIFICATION BASED ON 3D GEOLOGICAL MODEL USING ORDINARY KRIGING METHOD AT PROSPECT X, GARUT, PT ANTAM Tbk*

Luthfi Adnan Saputra<sup>1</sup>, Mira Meirawaty<sup>1a</sup>, Irfan Marwanza<sup>2</sup>, Muhammad Dian Syahputra Siahaan<sup>3</sup>, Surya Darma Hafiz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Kebumian dan Energi, Universitas Trisakti, Jakarta Barat, 11440, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Kebumian dan Energi, Universitas Trisakti, Jakarta Barat, 11440, Indonesia

<sup>3</sup>PT Antam Tbk., Garut, Jawa Barat, 44175, Indonesia

<sup>a</sup>Email korespondensi: [mira@trisakti.ac.id](mailto:mira@trisakti.ac.id)

**Sari.** Indonesia memiliki potensi sumber daya emas yang besar pada jalur magmatik aktif Sunda-Banda, termasuk endapan emas epitermal sulfidasi rendah. Prospek X di Kabupaten Garut, Jawa Barat, merupakan salah satu area eksplorasi PT Aneka Tambang Tbk. yang memiliki data pemboran memadai untuk estimasi sumber daya mineral. Penelitian ini bertujuan membangun model geologi tiga dimensi, menganalisis karakteristik statistik dan kontinuitas spasial kadar emas, mengestimasi dan mengklasifikasi sumber daya menggunakan metode *Ordinary Kriging*, serta mengidentifikasi distribusi spasial hasil estimasi. Data yang digunakan berupa data sekunder dari 107 lubang bor yang meliputi topografi, *collar*, *survey*, litologi hasil *logging* inti bor, dan data *assay* Au. Pemodelan geologi dilakukan menggunakan Leapfrog Geo 5.1 dengan metode *implicit modelling* berbasis *Radial Basis Function*. Analisis geostatistik meliputi statistik deskriptif, analisis distribusi data, komposit, dan pemodelan variogram 3D. Estimasi kadar Au dilakukan pada model blok berukuran  $10 \times 10 \times 2$  m menggunakan *Ordinary Kriging* dengan klasifikasi sumber daya mengacu pada Kode KCMi 2017. Hasil penelitian menunjukkan enam satuan litologi utama, yaitu *soil*, lava, tuf, breksi polimik, breksi monomik, dan andesit. Domain mineralisasi berupa satu tubuh urat kuarsa epitermal berorientasi barat laut–tenggara dengan geometri tabular. Estimasi menghasilkan sumber daya sebesar 1.990.150 ton bijih pada kadar rata-rata 2,61 ppm Au atau setara 5,19 ton Au. Sumber daya terdiri atas kategori Terukur, Tertunjuk, dan Tereka. Zona kadar tinggi terkonsentrasi pada bagian barat–tengah tubuh urat, sedangkan zona Tereka di tepi model menunjukkan potensi perluasan mineralisasi yang memerlukan pengeboran lanjutan.

**Abstract.** Indonesia hosts significant gold resources along the active Sunda-Banda magmatic arc, including low-sulfidation epithermal gold deposits. The X Prospect,

### Sejarah Artikel:

Diterima  
14 Juli 2026  
Revisi  
02 Agustus 2026  
Disetujui  
06 Agustus 2026  
Terbit Online  
15 Agustus 2026

### Kata Kunci:

- Estimasi dan Klasifikasi Sumber Daya,
- Geostatistik,
- *Ordinary Kriging*,
- Pemodelan Geologi 3D,
- Sistem Epitermal.

### Keywords:

- *Resource Estimation and Classification*,
- *Geostatistics*,
- *Ordinary Kriging*,
- *Three-dimensional Geological Modelling*,
- *Epithermal System*.

located in Garut Regency, West Java, is an exploration area of PT Aneka Tambang Tbk. with sufficient drilling data for mineral resource estimation. This study aims to develop a three-dimensional geological model, analyze the statistical characteristics and spatial continuity of gold grades, estimate mineral resources using the Ordinary Kriging method, and identify the spatial distribution of the estimated resources. The study utilized secondary data from 107 drillholes, including topographic, collar, survey, lithological logging, and Au assay data. Three-dimensional geological modeling was conducted using Leapfrog Geo 5.1 with an implicit modeling approach based on Radial Basis Functions. Geostatistical analyses included descriptive statistics, data distribution assessment, compositing, and three-dimensional variogram modeling. Gold grade estimation was performed on a  $10 \times 10 \times 2$  m block model using Ordinary Kriging, with resource classification following the KCM 2017 Code. The results identified six main lithological units: soil, lava, tuff, polymict breccia, monomict breccia, and andesite. The mineralization domain consists of a single epithermal quartz vein striking northwest-southeast with a tabular geometry. Resource estimation yielded 1,990,150 tonnes of ore at an average grade of 2.61 ppm Au, equivalent to 5.19 tonnes of contained gold. The resources are classified into Measured, Indicated, and Inferred categories. High-grade zones are concentrated in the central-western part of the vein body, while inferred resources at the model margins indicate potential mineralization extensions requiring additional drilling.

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi sumber daya emas yang besar sebagai akibat dari aktivitas tektonik dan magmatisme yang berlangsung intensif pada jalur Sunda-Banda. Potensi tersebut tersebar di berbagai wilayah Indonesia dan membentuk beragam tipe endapan mineral, termasuk endapan emas epitermal yang banyak berkembang pada lingkungan vulkanik. Besarnya potensi sumber daya emas tersebut mendorong perlunya kegiatan eksplorasi yang berkelanjutan guna memperoleh informasi mengenai karakteristik geologi serta kuantitas sumber daya yang dapat dimanfaatkan secara optimal.

Salah satu wilayah yang memiliki potensi mineralisasi emas adalah Prospek X yang terletak di Kabupaten Garut, Jawa Barat dan berada dalam wilayah IUP Operasi Produksi PT ANTAM Tbk. Secara geologi, daerah ini merupakan bagian dari jalur mineralisasi emas Jawa Barat yang berkembang pada batuan vulkanik dan vulkanoklastik Tersier. Mineralisasi emas di X berasosiasi dengan urat kuarsa yang mengandung mineral sulfida seperti pirit, kalkopirit, galena, dan sfalerit, serta dikontrol oleh struktur geologi yang berperan sebagai jalur migrasi fluida hidrotermal (Rudyawan dkk., 2025). Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa sistem mineralisasi di daerah ini termasuk ke dalam sistem epitermal sulfidasi rendah hingga transisi menuju sulfidasi menengah. Karakteristik tersebut sesuai dengan ciri sistem epitermal yang umumnya berkembang pada lingkungan vulkanik dangkal dan menunjukkan hubungan erat antara mineralisasi, struktur permeabel, serta sirkulasi fluida hidrotermal (Hedenquist dkk., 2000; Sillitoe, 1993).

Kegiatan eksplorasi yang telah dilakukan menghasilkan data pemboran inti yang cukup memadai untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan. Namun demikian, interpretasi mengenai geometri tiga dimensi domain mineralisasi serta distribusi spasial kadar emas masih memerlukan kajian yang lebih terintegrasi. Pemodelan geologi tiga dimensi menjadi salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk merepresentasikan hubungan antara litologi, struktur geologi, dan tubuh mineralisasi secara lebih komprehensif sehingga dapat meningkatkan pemahaman terhadap kontinuitas mineralisasi di bawah permukaan. Pemodelan tiga dimensi memungkinkan integrasi data geologi dari berbagai sumber untuk membangun representasi spasial domain mineralisasi yang lebih konsisten sebagai dasar evaluasi sumber daya (Cowan dkk., 2003).

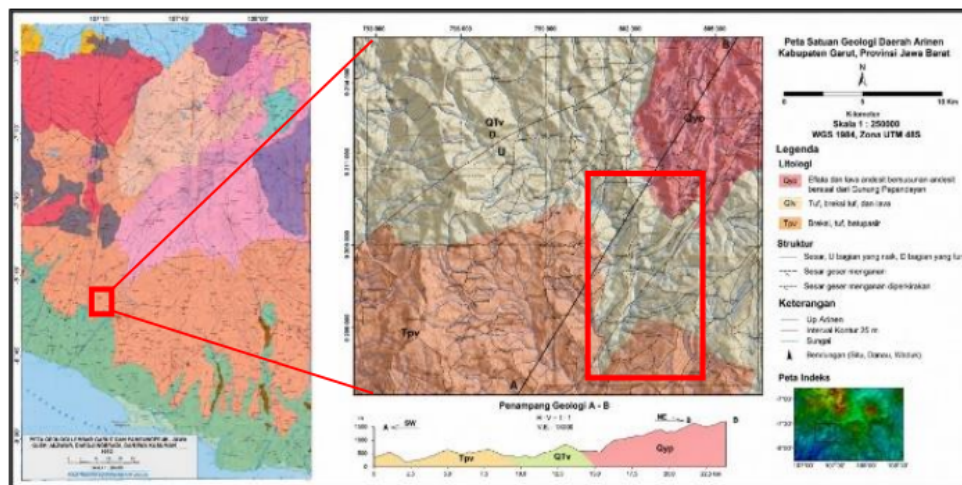
Sebagai tahapan lanjutan, model geologi yang telah dibangun dapat digunakan sebagai dasar dalam estimasi sumber daya emas. Pada penelitian ini, estimasi dilakukan menggunakan metode geostatistik *Ordinary Kriging* yang mempertimbangkan hubungan spasial antar data melalui analisis variogram.

Metode tersebut banyak digunakan dalam industri pertambangan karena mampu menghasilkan estimasi kadar yang relatif tidak bias serta memberikan ukuran ketidakpastian estimasi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk membangun model geologi tiga dimensi dan mengestimasi sumber daya emas menggunakan metode *Ordinary Kriging* pada sistem epitermal Prospek X, Garut, Jawa Barat.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini diarahkan untuk membangun model geologi tiga dimensi yang dikontrol oleh litologi, kemudian mengintegrasikannya dengan pendekatan geostatistik menggunakan *Ordinary Kriging* untuk menghasilkan estimasi sumber daya emas yang lebih *robust* pada sistem epitermal Prospek X.

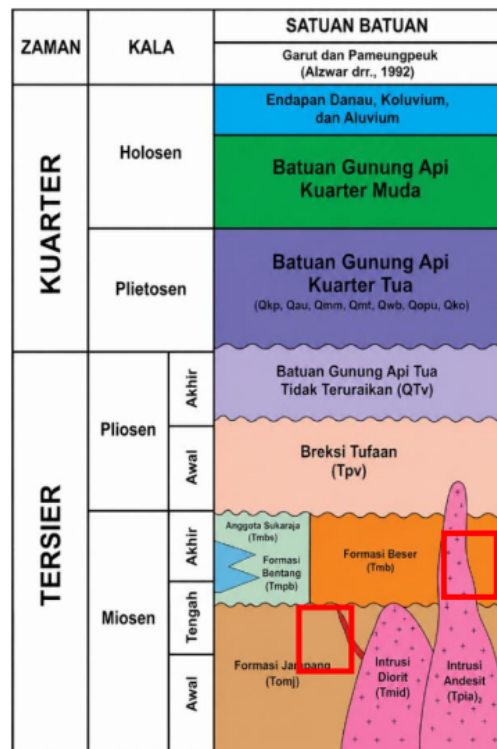
## GEOLOGI REGIONAL

Daerah penelitian berada di Prospek X, Kabupaten Garut, Jawa Barat, yang secara regional termasuk ke dalam busur magmatik Sunda hasil subduksi Lempeng Indo-Australia di bawah Lempeng Eurasia. Geologi wilayah ini didominasi oleh batuan vulkanik Tersier hingga Kuarter yang disusun oleh Formasi Jampang, Formasi Bentang, Formasi Besar, satuan Breksi Tufaan, serta intrusi diorit dan andesit yang berperan penting dalam perkembangan sistem hidrotermal. Batuan-batuan tersebut kemudian ditutupi oleh produk gunungapi Kuarter dan endapan permukaan berupa kolumium serta aluvium. Struktur geologi regional didominasi oleh sesar berarah barat laut–tenggara dan timur laut–barat daya yang mengontrol perkembangan rekahan, jalur aliran fluida hidrotermal, dan pembentukan mineralisasi emas epitermal di wilayah X (Gambar 1) (Alzwar dkk., 1992; Clements dan Hall, 2007; Suteja dkk., 2016).



**Gambar 1.** Peta geologi regional pada sisi kiri (Alzwar dkk., 1992) dan peta geologi sisi kanan yang dimodifikasi dari Alzwar dkk. (1992). Kotak merah menunjukkan daerah penelitian

Stratigrafi regional daerah penelitian berkembang sejak Oligosen hingga Holosen dan didominasi oleh aktivitas vulkanisme, intrusi magmatik, sedimentasi, serta tektonik yang berkaitan dengan sistem subduksi di selatan Pulau Jawa. Satuan batuan tertua adalah Formasi Jampang (Tomj) berumur Oligosen Akhir–Miosen Tengah yang tersusun atas breksi dan lava andesit, kemudian diterobos oleh intrusi diorit berumur Miosen Tengah (Tmid). Formasi Besar (Tmb) dan Breksi Tufaan (Tpv), yang kemudian dipotong oleh intrusi andesit berumur Pliosen Akhir (Tmi(a)) yang berperan penting dalam pembentukan sistem mineralisasi. Satuan yang lebih muda terdiri atas batuan gunungapi Kuarter serta endapan permukaan berupa endapan danau, kolumium, dan aluvium. Secara regional, evolusi stratigrafi tersebut mencerminkan perkembangan magmatisme dan vulkanisme yang mengontrol pembentukan sistem hidrotermal dan mineralisasi emas di wilayah Garut (Gambar 2) (Alzwar dkk., 1992; Clements dan Hall, 2007; Suteja dkk., 2016).



**Gambar 2.** Kolom stratigrafi Garut–Pameungpeuk, dimodifikasi ulang dari Alzwar dkk. (1992). Kotak merah menunjukkan daerah penelitian

## METODE PENELITIAN

### Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif dengan pendekatan pemodelan geologi tiga dimensi dan geostatistik untuk mengestimasi sumber daya emas pada Prospek X, Garut, Jawa Barat. Pendekatan deskriptif digunakan untuk menggambarkan kondisi geologi dan karakteristik data pemboran, sedangkan pendekatan kuantitatif digunakan untuk menganalisis distribusi kadar emas serta melakukan estimasi sumber daya secara spasial. Tahapan penelitian meliputi interpretasi geologi bawah permukaan berdasarkan data pemboran, pembangunan model geologi tiga dimensi, analisis statistik kadar, analisis variogram, estimasi sumber daya menggunakan metode *Ordinary Kriging*, serta klasifikasi sumber daya berdasarkan tingkat keyakinan hasil estimasi.

### Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder berupa data eksplorasi pemboran yang diperoleh dari PT ANTAM Tbk pada wilayah IUP Operasi Produksi X. Data pemboran menjadi dasar utama dalam merekonstruksi kondisi geologi bawah permukaan, menentukan distribusi litologi, serta menganalisis sebaran kadar emas. Secara keseluruhan, data yang digunakan meliputi data kondisi lapangan, topografi, *collar*, *survey*, litologi, dan *assay* (Gambar 3).

- **Data Kondisi Lapangan**

Data kondisi lapangan digunakan sebagai informasi pendukung untuk memperoleh gambaran aktual mengenai kondisi geologi daerah penelitian. Informasi tersebut digunakan dalam membantu interpretasi geologi dan memberikan konteks terhadap hasil pemodelan bawah permukaan.

- **Data Topografi**

Data topografi digunakan untuk merepresentasikan kondisi permukaan daerah penelitian dan membentuk batas permukaan atas (*topographic surface*) dalam model geologi tiga dimensi. Selain

itu, data ini digunakan sebagai salah satu batas dalam proses pemodelan dan estimasi sumber daya.

- **Data Collar**

Data *collar* digunakan untuk menentukan posisi awal setiap lubang bor, yang meliputi koordinat X, Y, elevasi, dan identitas lubang bor. Informasi tersebut menjadi dasar penentuan posisi spasial lubang bor dalam pembangunan model geologi tiga dimensi.

- **Data Survey**

Data *survey* digunakan untuk merekonstruksi orientasi dan lintasan lubang bor di bawah permukaan berdasarkan informasi *azimuth* dan *dip*. Data ini penting untuk memperoleh posisi aktual sampel dan interval litologi dalam ruang tiga dimensi.

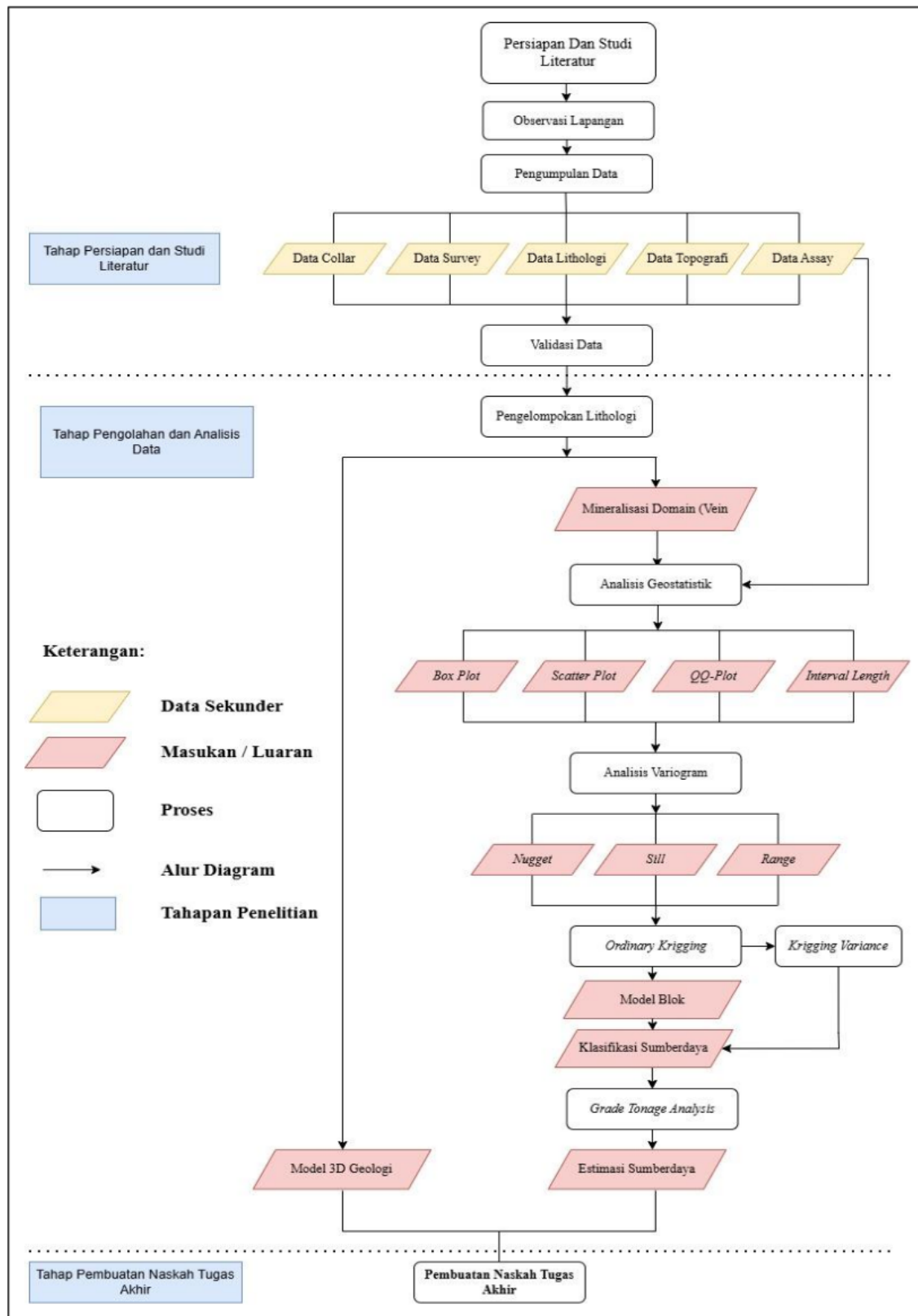
- **Data Litologi**

Data litologi digunakan untuk mengidentifikasi dan memodelkan distribusi satuan batuan berdasarkan interval yang ditembus oleh masing-masing lubang bor. Berdasarkan *database* pemboran, terdapat tujuh satuan litologi yang digunakan dalam penelitian, yaitu *soil*, lava, tuf, *vein*, breksi polimik, breksi monomik, dan andesit. Data litologi selanjutnya menjadi dasar dalam interpretasi hubungan geologi dan penyusunan model geologi tiga dimensi.

- **Data Assay**

Data *assay* merupakan hasil analisis laboratorium terhadap kandungan emas (Au) pada interval sampel pemboran. Data ini menjadi komponen utama dalam analisis kuantitatif karena digunakan untuk mengetahui karakteristik distribusi kadar emas serta menjadi input dalam proses estimasi sumber daya. Setiap nilai kadar dikaitkan dengan posisi spasial berdasarkan data *collar* dan *survey*, sehingga distribusi kadar dapat divisualisasikan dan dianalisis dalam ruang tiga dimensi. Analisis terhadap data *assay* meliputi pemeriksaan statistik dasar, distribusi frekuensi kadar, identifikasi nilai pencilan, serta evaluasi karakteristik distribusi data. Tahapan tersebut dilakukan untuk memahami perilaku kadar sebelum digunakan dalam analisis geostatistik. Data kadar kemudian digunakan dalam penyusunan variogram untuk menentukan kontinuitas spasial dan parameter estimasi *Ordinary Kriging*. Berdasarkan data yang digunakan, nilai kadar emas memiliki nilai maksimum sebesar 62,22 g/t Au. Nilai tersebut menunjukkan adanya variasi kadar yang perlu diperhatikan dalam analisis statistik dan pemodelan geostatistik agar tidak memberikan pengaruh yang tidak proporsional terhadap hasil estimasi.

Secara keseluruhan, integrasi data topografi, *collar*, *survey*, litologi, dan *assay* menghasilkan basis data spasial yang digunakan dalam pembangunan model geologi tiga dimensi. Model tersebut selanjutnya menjadi dasar untuk menentukan domain estimasi, menganalisis kontinuitas kadar, dan melakukan estimasi sumber daya emas menggunakan metode *Ordinary Kriging*. Dengan pendekatan tersebut, estimasi tidak hanya mempertimbangkan nilai kadar pada titik sampel, tetapi juga mempertimbangkan posisi spasial dan hubungan antar-data sehingga hasil estimasi dapat merepresentasikan distribusi sumber daya secara lebih baik.

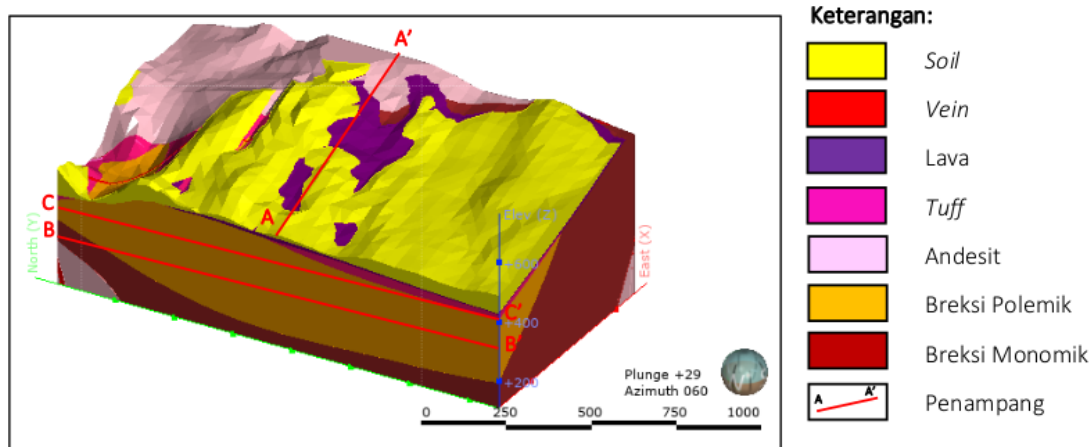


Gambar 3. Bagan alir penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

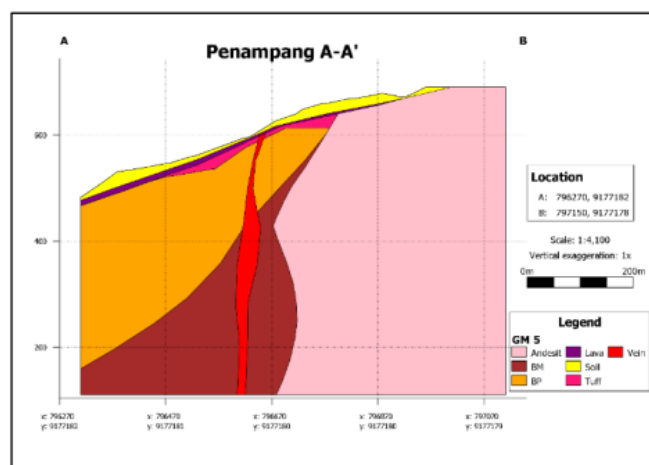
### Model Geologi

Berdasarkan model tiga dimensi (Gambar 4), satuan breksi monomik dan breksi polemik berkembang pada bagian tengah hingga barat daerah penelitian dan mempunyai penyebaran yang cukup menerus. Kedua satuan tersebut menjadi *host rock* utama bagi mineralisasi emas. Sementara itu, satuan andesit berkembang luas terutama pada bagian timur model dan berperan sebagai batuan sampung (*wall rock*). Lapisan tuf, lava, dan soil mempunyai ketebalan yang relatif tipis serta berkembang mengikuti morfologi permukaan.



Gambar 4. Hasil Model Geologi pada daerah penelitian (Leapfrog Geo)

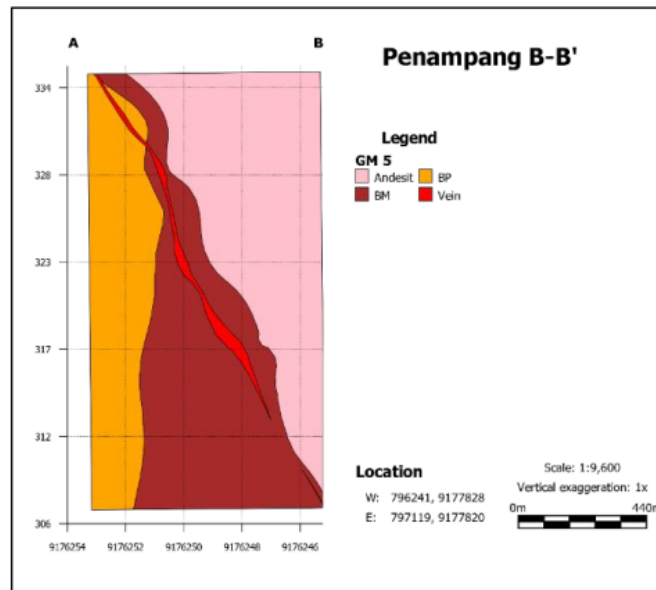
Penampang geologi menginterpretasikan bahwa sistem mineralisasi di Prospek X dikontrol oleh urat kuarsa epitermal yang memotong batuan breksi vulkanik sebagai *host rock*. Urat memiliki kemiringan relatif curam dan dikelilingi oleh zona alterasi hidrotermal, mencerminkan jalur migrasi fluida yang dikendalikan oleh struktur geologi. Kontinuitas geometri urat pada kedua penampang menunjukkan bahwa mineralisasi berkembang secara menerus, sehingga dapat didefinisikan sebagai satu domain mineralisasi utama yang selanjutnya digunakan dalam pemodelan geologi tiga dimensi dan estimasi sumber daya emas (Gambar 5).



Gambar 5. Penampang horizontal A-A' dengan azimuth barat-timur pada daerah penelitian

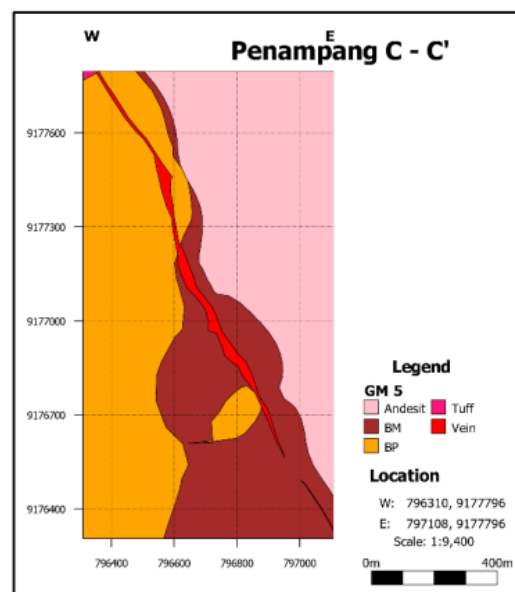
Penampang memperlihatkan breksi monomik yang mendominasi bagian kiri dan breksi polimik yang berkembang pada bagian tengah hingga kanan penampang. Kontak antar litologi menunjukkan geometri yang tidak beraturan dan mengalami perubahan ketebalan secara lateral. Zona mineralisasi

berkembang memanjang mengikuti arah struktur utama yang memotong kedua satuan tersebut, dengan penyebaran yang relatif menerus ke arah bawah penampang. Kondisi ini menunjukkan bahwa perkembangan mineralisasi dipengaruhi oleh kontrol struktur dan kontak litologi, yang menjadi jalur sirkulasi fluida hidrotermal (Gambar 6).



**Gambar 6.** Penampang horizontal B-B' dengan *azimuth* barat–timur pada daerah penelitian

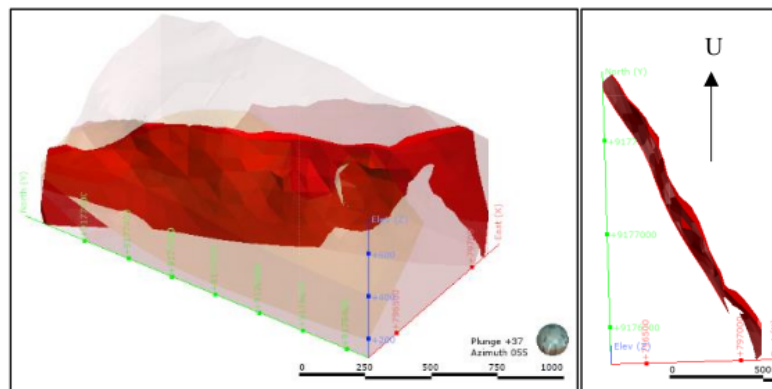
Penampang menunjukkan breksi monomik yang dominan pada bagian kiri, sedangkan breksi polimik berkembang pada bagian tengah hingga kanan penampang. Pada bagian tengah terlihat perubahan geometri dan pelebaran lokal zona mineralisasi yang kemudian kembali menyempit ke arah bawah. Zona mineralisasi mengikuti struktur utama yang berarah relatif miring dan memotong satuan batuan menunjukkan adanya kontrol struktur terhadap distribusi mineralisasi. Variasi ketebalan dan bentuk zona mineralisasi secara lateral maupun vertikal mencerminkan perbedaan intensitas mineralisasi serta kondisi permeabilitas batuan pada masing-masing bagian penampang (Gambar 7).



**Gambar 7.** Penampang horizontal C-C' dengan *azimuth* barat–timur pada daerah penelitian

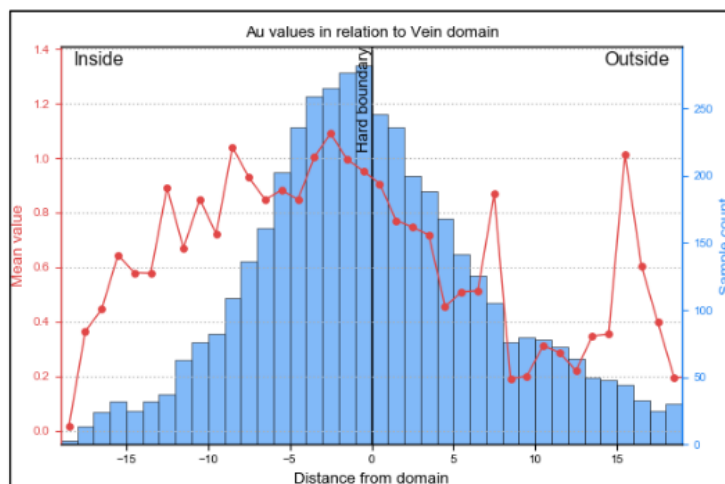
### Domain Mineralisasi (Vein)

Hasil pemodelan tiga dimensi domain *vein* menggunakan metode *implicit modelling* pada Leapfrog Geo 5.1 menghasilkan *mesh* permukaan tiga dimensi yang merepresentasikan geometri urat secara keseluruhan. Gambar 8 menampilkan model tiga dimensi domain *vein* dalam dua orientasi pandang, yaitu tampak perspektif yang menunjukkan geometri keseluruhan beserta batas batuan sampling, dan tampak dari arah jurus (*strike*) yang memperlihatkan morfologi dimensi ketebalan dan kemiringan urat. Berdasarkan model yang telah dibuat, arah dari kemenerusan *vein* adalah NW-SE, yang memanjang sejauh  $\pm 1000\text{m}$ .



**Gambar 8.** Model tiga dimensi domain *vein* Prospek X: (kiri) tampak perspektif menunjukkan geometri keseluruhan urat (merah) dalam konteks batas *host rock* (transparan)

Pembatasan geometri tiga dimensi domain *vein* dilakukan menggunakan perangkat lunak Leapfrog Geo 5.1 melalui fungsi *Implicit Modelling* berbasis interpolasi *Radial Basis Function* (RBF). Proses ini menggunakan data interval urat kuarsa yang diinterpretasikan dari log inti bor sebagai input, dimana setiap interval yang teridentifikasi sebagai urat mineralisasi diberi kode domain "*inside*" dan material di luar interval tersebut diberi kode "*outside*". Dari hasil pemodelan pada Gambar 8 dapat divalidasi dengan grafik hubungan nilai kadar Au terhadap domain, dimana nilai kadar terus meningkat dan nilai kadar tinggi berada dalam domain (Gambar 9).

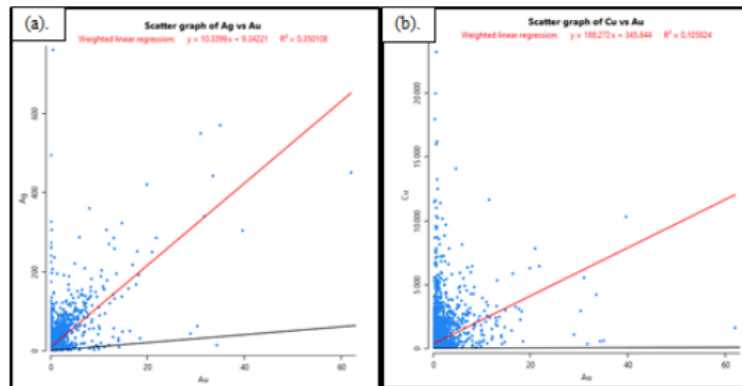


**Gambar 9.** Grafik hubungan nilai kadar Au terhadap jarak dari batas domain *vein* (*distance from domain plot*).  
Garis merah = nilai rata-rata kadar Au; batang biru = jumlah sampel. Garis vertikal hitam pada  $x = 0$  menunjukkan posisi *hard boundary*

## Statistik Deskriptif

### Scatter Plot

Sebaran data pada *scatter plot* Au-Ag menunjukkan konsentrasi yang sangat tinggi pada kuadran kiri bawah ( $Au < 5$  ppm dan  $Ag < 100$  ppm), dengan beberapa titik data *outlier* pada nilai Au dan Ag yang jauh lebih tinggi. Pola ini merupakan karakteristik khas distribusi log-normal pada data geokimia endapan epitermal, di mana sebagian besar data berada pada nilai rendah namun terdapat populasi kecil data berkadar sangat tinggi (*high-grade tail*) yang memegang peranan penting dalam kontribusi total kandungan logam (Gambar 10).



**Gambar 10.** *Scatter plot* korelasi geokimia: (kiri) Au vs Ag dengan  $R^2 = 0,350$ ; (kanan) Au vs Cu dengan  $R^2 = 0,106$ . Garis merah = *weighted linear regression*; garis hitam = *ordinary linear regression*. Data dari komposit bor Prospek X ( $n = 5.096$ )

Analisis geokimia menunjukkan bahwa kadar Au memiliki hubungan yang lebih kuat dengan Ag dibandingkan dengan Cu. Hubungan Au–Ag menghasilkan nilai ( $R^2=0,350$ ) dengan korelasi sedang, yang mengindikasikan asosiasi moderat dan kemungkinan keterkaitan pada zonasi epitermal, sedangkan hubungan Au–Cu relatif lemah ( $R^2=0,106$ ), mengindikasikan perbedaan fase mineralisasi dan kemungkinan bahwa Cu tidak terbentuk secara *co-genetic* dengan Au (Tabel 1).

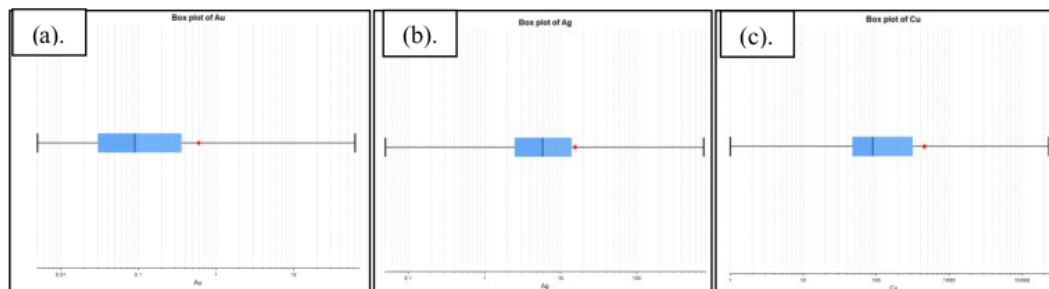
**Tabel 1.** Ringkasan Parameter Regresi *Scatter Plot* Geokimia Prospek X

| Pasangan Variabel | $R^2$ | Slope (Weighted) | Kekuatan Korelasi | Interpretasi Geologis                                         |
|-------------------|-------|------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------|
| Au vs Ag          | 0,350 | 10,340           | Sedang            | Asosiatif moderat; zonasi epitermal                           |
| Au vs Cu          | 0,106 | 188,272          | Lemah             | Fase mineralogi berbeda; Cu tidak <i>co-genetic</i> dengan Au |

### Box Plot

*Box plot* menunjukkan bahwa distribusi kadar Au, Ag, dan Cu memiliki karakteristik *right-skewed* (*positively skewed*), yang ditandai oleh nilai rata-rata (*mean*) yang lebih tinggi daripada median serta keberadaan *outlier* pada ekor kanan distribusi (Gambar 11). Unsur Au memperlihatkan tingkat kemencengan paling tinggi dengan rentang kadar yang lebar dan beberapa nilai sangat tinggi (*bonanza grade*), mencerminkan karakter mineralisasi epitermal yang terlokalisasi pada urat kuarsa. Sebaliknya, distribusi Ag dan Cu relatif lebih homogen meskipun tetap menunjukkan *positive skewness*. Karakteristik tersebut mengindikasikan bahwa data geokimia Prospek X cenderung mengikuti distribusi log-normal, sehingga transformasi logaritmik layak diterapkan untuk memenuhi asumsi analisis geostatistik pada tahap estimasi sumber daya. Pendekatan transformasi logaritmik umum diterapkan

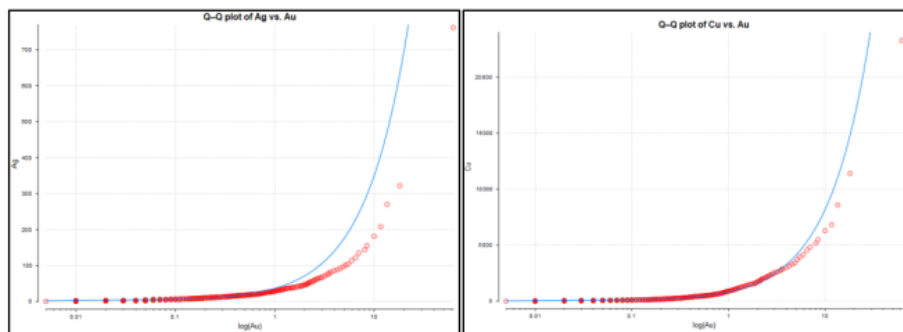
pada data kadar yang memiliki kemencengan positif dan *high-grade tail* agar karakter distribusi dapat dipertimbangkan secara lebih tepat dalam analisis geostatistik (Isaaks dan Srivastava, 1989).



**Gambar 11.** Box plot distribusi data geokimia dalam skala logaritmik: (kiri) Au (ppm); (tengah) Ag (ppm); (kanan) Cu (ppm). Titik merah menunjukkan posisi nilai *mean*; garis vertikal hitam dalam kotak menunjukkan median

### Q-Q Plot

*Q-Q plot bivariate* digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian distribusi kadar Ag dan Cu terhadap distribusi log-normal dengan Au sebagai variabel acuan. Hasil analisis menunjukkan bahwa data Ag mengikuti distribusi teoritis pada kuantil menengah, namun mengalami penyimpangan pada kuantil atas yang mengindikasikan keberadaan *heavy tail* akibat populasi data berkadar tinggi. Penyimpangan yang lebih besar ditunjukkan oleh Cu, terutama pada kuantil atas, yang mencerminkan keberadaan *mixed population* dan nilai anomali berkadar tinggi. Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa distribusi Ag dan Cu tidak sepenuhnya mengikuti distribusi log-normal tunggal, sehingga perlu dipertimbangkan dalam pemodelan dan estimasi geostatistik (Gambar 12).

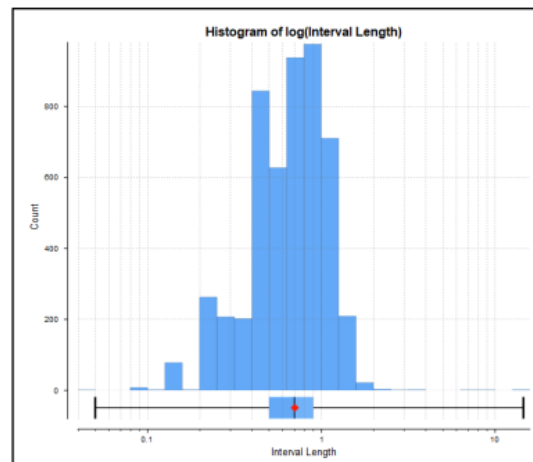


**Gambar 12.** Q-Q Plot *bivariate*: (kiri) Ag vs log (Au); (kanan) Cu vs log (Au). Titik merah solid = data berkadar di bawah atau mendekati batas deteksi; titik merah terbuka = data aktual; kurva biru = distribusi teoritis log-normal

### Interval Length

Analisis panjang interval komposit terhadap 5.096 data menunjukkan bahwa proses *compositing* menghasilkan interval yang relatif seragam dengan nilai *mean* 0,704 m dan median 0,700 m, yang mengindikasikan kesesuaian terhadap target panjang komposit (Gambar 13). Sebagian besar data berada pada rentang 0,5–0,9 m, sedangkan histogram menunjukkan distribusi bimodal yang terdiri atas komposit reguler dan sejumlah kecil komposit pendek yang umumnya berasal dari ujung lubang bor atau batas litologi. Meskipun terdapat variasi panjang interval ( $CV = 0,624$ ), secara keseluruhan hasil *compositing* dinilai telah menghasilkan interval yang representatif dan layak digunakan sebagai dasar analisis geostatistik serta estimasi sumber daya. *Compositing* dengan panjang yang relatif seragam diperlukan untuk mengurangi pengaruh perbedaan panjang sampel terhadap statistik kadar

dan memastikan data yang digunakan dalam estimasi memiliki dukungan sampel yang lebih konsisten (Sinclair dan Blackwell, 2002).



**Gambar 13.** Histogram distribusi panjang interval komposit dalam skala logaritmik

Statistik komposit menunjukkan sebanyak 5.096 sampel dengan panjang interval rata-rata 0,704 m dan median 0,700 m, sehingga komposit relatif sesuai dengan target panjang 0,7 m. Rentang Q1–Q3 sebesar 0,500–0,900 m menunjukkan sebagian besar data berada di sekitar target, meskipun nilai standar deviasi 0,439 m dan *coefficient of variation* 0,624 mengindikasikan heterogenitas panjang interval. Nilai minimum 0,050 m dan maksimum 14,550 m menunjukkan adanya interval yang sangat pendek maupun anomali interval panjang yang perlu diperhatikan dalam proses kompositisasi (Tabel 2).

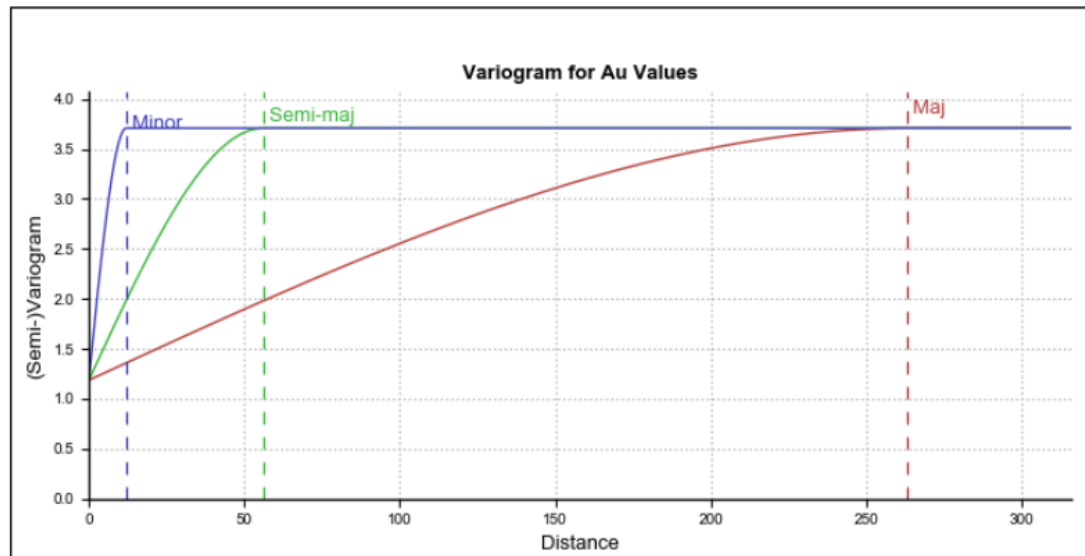
**Tabel 1.** Statistik Deskriptif Panjang Interval Komposit Prospek X

| Parameter                              | Nilai           | Interpretasi                                                                      |
|----------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Jumlah Komposit                        | 5.096           | Total sampel komposit yang dianalisis                                             |
| Mean                                   | 0,704 m         | Mendekati target komposit 0,7 m                                                   |
| Median (Q2)                            | 0,700 m         | $Mean \approx Median \rightarrow$ distribusi mendekati simetris di sekitar target |
| Q1–Q3                                  | 0,500 – 0,900 m | 50% data berada dalam rentang $\pm 28\%$ dari target                              |
| Standar Deviasi (SD)                   | 0,439 m         | Variabilitas cukup tinggi relatif terhadap <i>mean</i>                            |
| CV ( <i>Coefficient of Variation</i> ) | 0,624           | $CV > 0,5$ mengindikasikan distribusi tidak seragam; ada interval <i>outlier</i>  |
| Minimum                                | 0,050 m         | Interval sangat pendek; ujung lubang bor atau zona transisi litologi              |
| Maksimum                               | 14,550 m        | Anomali: 20× lebih panjang dari <i>mean</i> ; perlu penjelasan khusus             |
| Variansi                               | 0,193           | Sesuai dengan CV dan SD yang cukup besar                                          |

### Analisis Geostatistik (Variogram)

Analisis anisotropi geometrik menunjukkan perbedaan signifikan antara *range* pada ketiga arah utama. *Range* mayor sebesar 263,3 m mencerminkan arah kontinuitas kadar terpanjang yang sejajar dengan arah jurus (*strike*) urat epitermal. *Range* semi-mayor sebesar 56,06 m merepresentasikan arah kontinuitas menengah yang berhubungan dengan arah kemiringan (*dip*) urat. Adapun *range* minor sebesar 12,0 m mencerminkan arah tegak lurus bidang urat yang setara dengan variabilitas kadar dalam arah lebar atau ketebalan *vein* (Gambar 14). Rasio anisotropi *major* terhadap minor mencapai  $263,3/12,0 \approx 21,9$ , yang menunjukkan anisotropi sangat kuat dan konsisten dengan geometri endapan

urat epitermal yang memiliki dimensi lateral jauh lebih besar dibandingkan ketebalannya. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kontinuitas spasial kadar emas sangat dipengaruhi oleh orientasi urat, sehingga penerapan model variogram anisotropik menjadi lebih representatif dibandingkan model isotropik dalam proses estimasi sumber daya menggunakan *Ordinary Kriging*. Dalam pemodelan geostatistik, anisotropi digunakan ketika kontinuitas spasial berbeda menurut arah tertentu, sehingga orientasi dan *range* variogram perlu disesuaikan dengan kontrol geologi serta geometri tubuh mineralisasi (Journel dan Huijbregts, 1989).



**Gambar 14.** Model variogram tiga arah (*major*, *semi-major*, *minor*) untuk kadar Au pada domain *vein* GM 5 Prospek X. Garis merah = *major axis*, biru = *minor axis*, hijau = *semi-major axis*

Model variogram kadar Au menggunakan model *Spherical* dengan *nugget* 1,185 dan total *sill* 3,707. Nilai *nugget effect* sekitar 32% menunjukkan variabilitas jarak pendek yang cukup nyata, sementara *range major* 263,3 m, *semi-major* 56,06 m, dan *minor* 12,0 m memperlihatkan kontinuitas spasial yang anisotropik, dengan arah kontinuitas terpanjang sejajar *strike* urat dan arah terpendek tegak lurus terhadapnya. Orientasi *ellipsoid* (*Dip* 0,52°, *Azimuth* 339,50°, *Pitch* 27,82°) semakin mendukung kontrol struktural terhadap kontinuitas mineralisasi epitermal (Tabel 3).

**Tabel 2.** Parameter Model Variogram Kadar Au Domain *Vein*

| Parameter                  | Nilai                                                      | Keterangan                                                                                     |
|----------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Model Variogram            | <i>Spherical</i>                                           | Satu struktur ( <i>Structure 1</i> )                                                           |
| <i>Nugget</i>              | 1,185                                                      | <i>Nugget effect</i> ~ 32% dari total <i>sill</i> ; menunjukkan variabilitas pada jarak pendek |
| <i>Sill Parsial</i>        | 2,522                                                      | Kontribusi struktur utama terhadap total varians                                               |
| Total <i>Sill</i>          | 3,707                                                      | Mendekati variansi data (3,665)                                                                |
| <i>Range Major</i>         | 263,3 m                                                    | Arah kontinuitas terpanjang; sejajar <i>strike</i> urat <i>vein</i>                            |
| <i>Range Semi-major</i>    | 56,06 m                                                    | Kontinuitas menengah; arah <i>down-dip</i> urat                                                |
| <i>Range Minor</i>         | 12,0 m                                                     | Arah paling pendek; tegak lurus urat (lebar/ketebalan <i>vein</i> )                            |
| Orientasi <i>Ellipsoid</i> | <i>Dip</i> 0,52° / <i>Az</i> 339,50° / <i>Pitch</i> 27,82° | Konsisten dengan orientasi struktural urat epitermal X                                         |

### Estimasi dengan Metode *Ordinary Kriging*

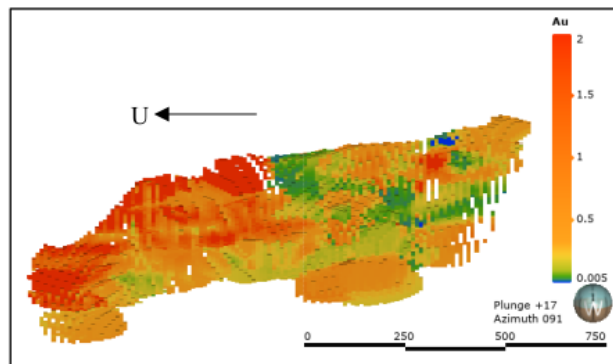
Berdasarkan hasil analisis geostatistik dalam pencarian *ellipsoid Ordinary Kriging* dapat ditentukan seperti pada Tabel 4. Radius pencarian pada *Pass 1* ditetapkan sebesar 50% dari *range* variogram masing-masing arah (*major*: 132 m, *semi-major*: 28 m, *minor*: 6 m). Pendekatan ini mengikuti rekomendasi praktik geostatistik standar yang menyatakan bahwa estimasi tahap pertama sebaiknya menggunakan radius yang lebih konservatif untuk memaksimalkan penggunaan data yang berkorelasi kuat. Apabila pada *Pass 1* jumlah sampel yang ditemukan dalam *search ellipsoid* tidak mencukupi nilai minimum (2 sampel), estimasi dilanjutkan ke *Pass 2* dengan radius diperluas menjadi 100% dari *range* variogram (*major*: 263 m, *semi-major*: 56 m, *minor*: 12 m).

Tabel 3. Parameter *Search Ellipsoid Ordinary Kriging*

| Parameter                         | Pass 1                   | Pass 2                   | Dasar Penentuan                                                 |
|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Search Radius Major (m)           | 132                      | 263                      | 50% & 100% <i>range</i> variogram <i>major</i>                  |
| Search Radius Semi-major (m)      | 28                       | 56                       | 50% & 100% <i>range</i> variogram <i>semi-major</i>             |
| Search Radius Minor (m)           | 6                        | 12                       | 50% & 100% <i>range</i> variogram <i>minor</i>                  |
| Orientasi ( <i>Dip/Az/Pitch</i> ) | 0,52° / 339,50° / 27,82° | 0,52° / 339,50° / 27,82° | Mengikuti orientasi <i>ellipsoid</i> variogram                  |
| Minimum Sampel                    | 2                        | 2                        | Minimum agar blok terestimasi                                   |
| Maksimum Sampel                   | 12                       | 12                       | Cegah <i>over-smoothing</i> ; stabilitas matriks <i>kriging</i> |
| Metode Estimasi                   | <i>Ordinary Kriging</i>  | <i>Ordinary Kriging</i>  | -                                                               |

### Model Blok *Ordinary Kriging*

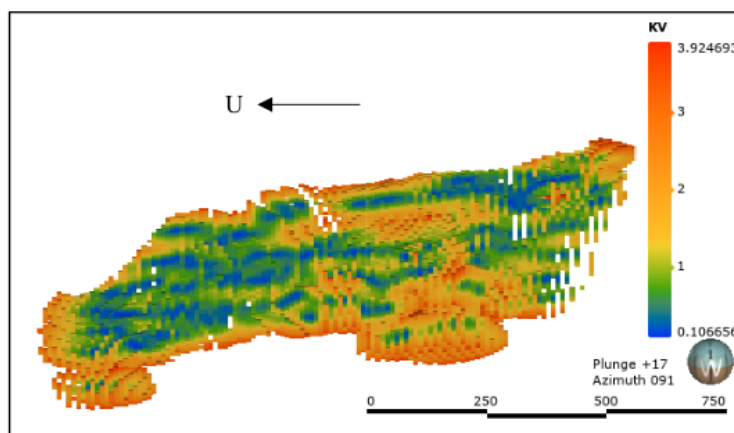
Hasil estimasi kadar Au menggunakan metode *Ordinary Kriging* pada *block model* berukuran 10 × 10 × 2 m menunjukkan distribusi kadar yang bersifat gradual sebagai akibat dari *smoothing effect* yang merupakan karakteristik metode *kriging*. Zona berkadar tinggi (>1,5 ppm Au) terkonsentrasi pada bagian barat hingga tengah-barat tubuh urat, sedangkan kadar menengah (0,5–1,0 ppm Au) mendominasi bagian tengah hingga timur. Blok berkadar rendah (<0,1 ppm Au) umumnya berada di tepi domain mineralisasi dan mencerminkan zona pinggiran atau area dengan pengaruh data bor yang terbatas. Pola distribusi ini sejalan dengan karakteristik endapan epitermal tipe urat, di mana kadar tertinggi berkembang pada inti mineralisasi, sementara gradasi kadar menuju tepi mengikuti kontinuitas spasial yang dimodelkan melalui variogram (Gambar 15). *Ordinary Kriging* merupakan metode estimasi linear yang memanfaatkan struktur korelasi spasial melalui variogram untuk memperoleh estimasi berbobot berdasarkan konfigurasi data di sekitar lokasi atau blok yang diestimasi (Deutsch dan Journel, 1999).



**Gambar 15.** Distribusi spasial kadar Au hasil estimasi *Ordinary Kriging* pada *block model*  $10 \times 10 \times 2$  m Prospek X, tampak dengan orientasi *Plunge* +17°, *Azimuth* 091°. Skala warna dari biru (0,005 ppm), merah (2 ppm Au)

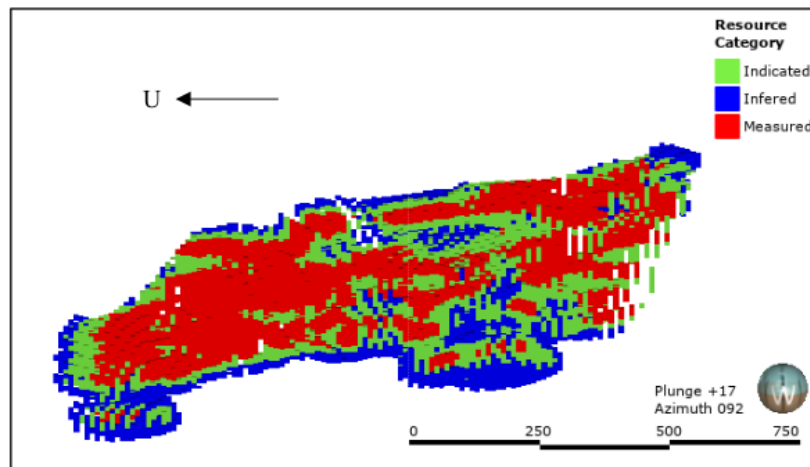
### ***Kriging Variance* dan Klasifikasi Sumber Daya**

*Kriging Variance* (KV) merupakan parameter ketidakpastian estimasi yang dihasilkan secara inheren dari metode *Ordinary Kriging*, yang dipengaruhi oleh konfigurasi spasial data dan model variogram, bukan oleh nilai kadar. Distribusi KV menunjukkan hubungan yang berbanding terbalik dengan kepadatan data bor. Nilai KV rendah (0,107–1,0) terkonsentrasi pada bagian tengah tubuh urat yang memiliki kepadatan pengeboran tinggi, sedangkan nilai KV tinggi (2,0–3,9) mendominasi bagian tepi dan ujung model yang memiliki cakupan data lebih terbatas. Pola ini menunjukkan bahwa tingkat kepercayaan estimasi tertinggi berada pada area yang didukung oleh data bor yang rapat, sementara ketidakpastian meningkat pada area dengan kontrol data yang lebih rendah (Gambar 16).



**Gambar 16.** Distribusi spasial *Kriging Variance* (KV) pada *block model* Prospek X. Nilai KV berkisar antara 0,107 (biru, kepastian tinggi) hingga 3,924 (merah, kepastian rendah)

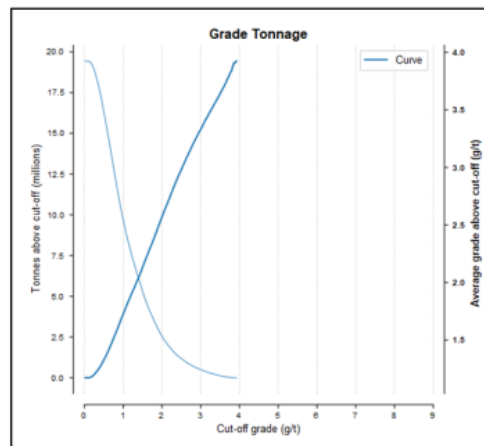
Klasifikasi kategori sumber daya mineral dilakukan berdasarkan nilai KV dengan mengacu pada KODE-KCMI 2017, t.t. Penetapan *threshold* KV untuk pemisahan antar kategori dilakukan berdasarkan analisis histogram distribusi KV sebagaimana ditampilkan pada Gambar 17. Tiga interval nilai KV ditetapkan sebagai berikut: (1)  $KV < 1,0$  diklasifikasikan sebagai Sumber Daya Terukur (*Measured*), mencerminkan blok-blok dengan tingkat kepastian estimasi tertinggi; (2)  $1,0 \leq KV < 1,885$  diklasifikasikan sebagai Sumber Daya Tertunjuk (*Indicated*); dan (3)  $KV \geq 1,885$  diklasifikasikan sebagai Sumber Daya Tereka (*Inferred*), mencerminkan blok dengan kepastian estimasi terendah (Gambar 17).



Gambar 17. Distribusi spasial kategori sumber daya mineral pada *block model* Prospek X. Merah = *Measured*, Hijau = *Indicated*, Biru = *Inferred*

### Estimasi Sumber Daya Mineral Analisis *Grade-Tonnage*

Analisis *grade-tonnage* menunjukkan hubungan yang konsisten antara kenaikan *cut-off grade* dan penurunan tonase, disertai peningkatan kadar rata-rata material yang berada di atas *cut-off*. Kurva ini menunjukkan adanya *trade-off* antara kuantitas dan kualitas material, sehingga pemilihan *cut-off grade* perlu mempertimbangkan keseimbangan antara tonase yang dapat ditambang dan peningkatan kadar Au yang diperoleh. Berdasarkan analisis *grade tonnage cut-off grade* berada pada 1,2 (g/t) yang mana ini bisa dijadikan acuan untuk penghitungan estimasi pada daerah penelitian (Gambar 18).



Gambar 18. Kurva *Grade-Tonnage* Prospek X berdasarkan hasil estimasi *Ordinary Kriging*. Sumbu Y kiri: tonase di atas *cut-off grade* (juta ton); sumbu Y kanan: kadar rata-rata di atas *cut-off grade* (g/t)

### Hasil Estimasi

Perlu dicatat bahwa kadar rata-rata kategori *Inferred* (3,00 ppm) yang lebih tinggi dibandingkan *Measured* (2,53 ppm) dan *Indicated* (2,61 ppm) merupakan fenomena yang perlu diinterpretasikan secara hati-hati. Secara geostatistik, hal ini dapat terjadi apabila blok-blok *Inferred* berada berdekatan dengan komposit berkadar tinggi yang digunakan sebagai data pendukung estimasi, namun jarak yang terlalu jauh dari blok tersebut menyebabkan KV meningkat melampaui *threshold Indicated*. Kondisi ini bukan indikator bahwa zona *Inferred* lebih kaya secara aktual, melainkan mencerminkan keterbatasan

data bor pada zona tersebut yang memerlukan pengeboran *infill* lebih lanjut untuk mengonfirmasi nilai kadar (Tabel 5).

**Tabel 4.** Hasil Estimasi Sumber daya Mineral Emas Prospek X

| Klasifikasi Sumber<br>Daya | Volume (m <sup>3</sup> ) | Densitas<br>(t/m <sup>3</sup> ) | Massa (t)        | Kadar<br>Rata-<br>rata Au<br>(ppm) | Kandungan<br>Logam Au (t) |
|----------------------------|--------------------------|---------------------------------|------------------|------------------------------------|---------------------------|
| <i>Measured</i>            | 431.600                  | 2,65                            | 1.143.740        | 2,53                               | 2,90                      |
| <i>Indicated</i>           | 242.000                  | 2,65                            | 641.300          | 2,61                               | 1,67                      |
| <i>Inferred</i>            | 77.400                   | 2,65                            | 205.110          | 3,00                               | 0,62                      |
| <b>Total</b>               | <b>751.000</b>           | <b>2,65</b>                     | <b>1.990.150</b> | <b>2,61</b>                        | <b>5,19</b>               |

## KESIMPULAN

Pemodelan geologi tiga dimensi berhasil mengidentifikasi satu domain mineralisasi utama berupa urat kuarsa epitermal yang berkembang pada litologi breksi monomik dan breksi polemik dengan orientasi barat laut–tenggara (NW–SE), geometri tabular, serta dikontrol oleh sistem struktur sesar yang membentuk *gash fracture* sebagai jalur mineralisasi (Rudyawan dkk., 2025). Analisis geostatistik menunjukkan bahwa kadar Au mengikuti distribusi log-normal dengan model variogram *Spherical* satu struktur, *nugget effect* moderat (32%), dan anisotropi geometrik kuat, yang mencerminkan kontinuitas mineralisasi sepanjang arah jurus urat. Estimasi sumber daya menggunakan metode *Ordinary Kriging* pada *block model* berukuran 10 × 10 × 2 m dengan densitas 2,65 t/m<sup>3</sup> menghasilkan total sumber daya sebesar 1.990.150 ton pada kadar rata-rata 2,61 ppm Au, setara dengan 5,19 ton logam Au. Berdasarkan klasifikasi (KODE-KCMI 2017, t.t.) menggunakan pendekatan *Kriging Variance*, sumber daya terdiri atas 1.143.740 ton kategori *Measured*, 641.300 ton kategori *Indicated*, dan 205.110 ton kategori *Inferred*, yang menunjukkan bahwa metode *Ordinary Kriging* mampu menghasilkan estimasi sumber daya yang representatif untuk sistem epitermal Prospek X.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada PT ANTAM Tbk yang telah memberikan izin penggunaan data *core logging* sebagai bahan penelitian ini. Terima kasih kepada Bapak Ir. M. Dian Syahputra Siahaan, S.T., M.M., IPM. selaku dosen pembimbing lapangan, juga Ibu Mira Meirawaty, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Dr. Ir. Irfan Marwanza, S.T., M.T., IPM. selaku dosen pembimbing pendamping yang telah sabar memberikan bimbingan, arahan, masukan, serta dukungan kepada penulis mulai dari proses pengolahan data, interpretasi hasil, hingga penyusunan artikel ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada seluruh dosen dan tenaga kependidikan Program Studi Teknik Geologi Universitas Trisakti dan teman-teman Teknik Geologi 2022 yang telah memberikan ilmu dan dukungan selama masa studi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alzwar, M., Akbar, N., & Bachri, S. (1992). *Peta Geologi Lembar Garut dan Pameungpeuk Skala 1:100.000*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Clements, B., dan Hall, R. (2007). Cretaceous to Late Miocene stratigraphic and tectonic evolution of West Java. *Proceedings Indonesian Petroleum Association Annual and Convention*, 7.
- Deutsch, C. V., dan Journel, A. G. (1999). *Geostatistical software library and user's guide*. Oxford University Press, 136(1), 83–108. <https://doi.org/10.1017/s0016756899531774>
- Cowan, E. J., Beatson, R., Ross, H. J., dan Fright, W. R. (2003). *Practical implicit geological modelling*. Australasian Institute of Mining and Metallurgy.

5. Hedenquist, J. W., Arribas, A. R., dan Urien, E. G. (2000). *Exploration for Epithermal Gold Deposits*. 13, 245–277.
6. Isaaks, E. H., dan Srivastava, R. M. (1989). *Applied geostatistics*. OXFORD UNIVERSITY PRESS.
7. Journel, A. G., dan Huijbregts, C. (1989). *Mining geostatistics*. Academic Press.
8. KODE-KCMI 2017. (t.t.). *Kode KCMI 2017: Kode pelaporan hasil eksplorasi, sumber daya mineral, dan cadangan mineral Indonesia*.
9. Rudyawan, A., Sujatmoko, M. L., dan Rizal, Y. (2025). Geology and structural control on mineralisation of the Arinem area, Garut, West Java. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 20(1), 37–46.
10. Sillitoe, R. H. (1993). Epithermal Models: Genetic type, geometrical controls and shallow features. *Mineral Deposit Modeling, Geol Assoc*, 403–417.
11. Sinclair, A. J., dan Blackwell, G. H. (2002). *Applied mineral inventory estimation*. Cambridge University Press.
12. Suteja, R., Rosana, M. F., dan Hardiono, A. (2016). Alterasi dan mineralisasi daerah Gunung Buleud, Desa Garumukti, Kecamatan Pamulihan, Kabupaten Garut, Provinsi Jawa Barat. *Bulletin of Scientific Contribution*, 14 (2). Universitas Padjajaran.

# ESTIMASI DAN KLASIFIKASI SUMBER DAYA EMAS BERDASARKAN PEMODELAN GEOLOGI 3D MENGGUNAKAN METODE ORDINARY KRIGING PADA PROSPEK X, GARUT, PT ANTAM Tbk

## ORIGINALITY REPORT

9%

SIMILARITY INDEX

9%

INTERNET SOURCES

4%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1

[www.e-journal.trisakti.ac.id](http://www.e-journal.trisakti.ac.id)

Internet Source

7%

2

[louisdl.louislibraries.org](http://louisdl.louislibraries.org)

Internet Source

1%

3

[123dok.com](http://123dok.com)

Internet Source

<1%

4

[docplayer.info](http://docplayer.info)

Internet Source

<1%

5

[journal.ummat.ac.id](http://journal.ummat.ac.id)

Internet Source

<1%

6

Mineral Resource Reviews, 2016.

Publication

<1%

7

[e-journal.trisakti.ac.id](http://e-journal.trisakti.ac.id)

Internet Source

<1%

Exclude quotes

On

Exclude bibliography

On

Exclude matches

< 15 words