

# ANALISIS PENGARUH DILUSI SILIKA TERHADAP KUALITAS ALUMINA PADA PROSES PENAMBANGAN BAUKSIT

Flaminggo Gingga<sup>1a</sup>, Desyana Ghafarunnisa<sup>2</sup>, dan Angga Kurniawan<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi D-III Teknologi Pertambangan,  
Jurusan Teknik Sipil dan Pertambangan, Politeknik Negeri Ketapang  
Jalan Rangka Sentap – Dalong, Kelurahan Sukaharja, Kecamatan Delta Pawan Kabupaten Ketapang  
Provinsi Kalimantan Barat 78813

<sup>(a)</sup>email korespondensi: fgingga@politap.ac.id

## ABSTRAK

Bahan galian bauksit memiliki kandungan Alumina ( $Al_2O_3$ ) dan Silika ( $SiO_2$ ) yang dominan. Data hasil perencanaan tambang (*plan*) dengan data realisasi tambang (*actual*) harus bandingkan kualitas dan kuantitasnya, untuk mengetahui seberapa besar nilai dan persentase dilusi akibat  $SiO_2$ . Maka diperlukan identifikasi penyebab utama terjadinya perbedaan kadar dan dilusi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis persentase dilusi terhadap bijih bauksit, menganalisis perbedaan kadar  $Al_2O_3$  dan  $SiO_2$  antara *plan* dan *actual*, dan menganalisis pengaruh dilusi  $SiO_2$  terhadap kadar  $Al_2O_3$ . Penelitian ini meliputi pengelompokan basis data, analisis statistik univariat, analisis hasil validasi silang dan menganalisis potensi dilusi akibat  $SiO_2$ . Persentase dilusi akibat  $SiO_2$  dilusi masih di bawah 5%, dengan persentase rata-rata pada blok I, blok II, dan blok III secara berturut-turut yaitu 2,98%, 2,95%, dan 3,11%. Kadar  $Al_2O_3$  mengalami perubahan penurunan kadar dari *plan* ke *actual*. Hal ini disebabkan oleh perubahan bertambahnya kadar  $SiO_2$  dari *plan* ke *actual* dengan persentase perbedaan kadar rata-rata sebesar 15,2%. Penurunan kadar  $Al_2O_3$  rata-rata dari *plan* ke *actual* sebesar -0,84% dengan persentase perbedaan kadar rata-rata sebesar -1,71%. Nilai penurunan kadar tersebut masih tergolong rendah dan masih dalam standar nilai perusahaan. Analisis pengaruh dilusi  $SiO_2$  terhadap kadar  $Al_2O_3$  menggunakan metode validasi silang yang menghasilkan nilai koefisien korelasi ( $r$ )  $Al_2O_3$  senilai 0,95. Nilai derajat *slope* adalah 43,3%. Dilusi  $SiO_2$  ternyata terbukti berpengaruh terhadap penurunan kualitas kadar  $Al_2O_3$  hanya saja masih tergolong kecil nilainya karena *waste* yang terambil sebagai penyebab dilusi masih < 5%.

**Kata kunci:** *Actual, alumina, bauksit, dilusi, kadar, plan, silika*

## PENDAHULUAN

Pada saat sekarang ini persaingan pasar bijih bauksit semakin ketat dengan persyaratan kualitas bijih bauksit yang ditetapkan oleh pelanggan. Berdasarkan persyaratan yang sangat ketat tersebut tentu saja menyulitkan bagi para produsen, khususnya produsen yang memiliki cadangan bijih bauksit yang variabel atau kualitasnya sangat dekat dengan *penalty* atau penolakan (*rejection*).

Perencanaan tambang perlu dilakukan untuk merencanakan penjadwalan produksi beserta pemilihan metode dan sistem penambangan. Taksiran cadangan dari eksplorasi selanjutnya diolah untuk melakukan gestimasi cadangan terkait kuantitas dan kualitas disesuaikan dengan penjadwalan produksi (*long, middle, dan short term*) (Kwiri, 2017). Untuk kuantitas disesuaikan target produksi yang telah ditetapkan berdasarkan penjadwalan produksi, sedangkan kualitas disesuaikan dengan *cut-off grade* (COG) yang disesuaikan dengan permintaan pelanggan. Faktor yang dipertimbangkan untuk menentukan sistem penambangan adalah kondisi endapan, kondisi material

*overburden* dan topografi (Githiria, 2018).

Data perencanaan tambang menjadi rujukan untuk kegiatan penambangan. Di dalam kegiatan penambangan perlu dilakukan pemilihan sistem penambangan yang terbaik, operasi yang efisien dan aman dengan biaya terendah, serta potensi keuntungan

terbesar yang akan diperoleh. Karena sebaran bijih bauksit laterit berupa endapan dangkal yang relatif landai, metode penambangan yang sesuai dengan *open cut* (Narita, 2016). Dalam penambangan harus melakukan penilaian prediktif terhadap dilusi bijih, dengan mempertimbangkan perubahan ketebalan tubuh bijih dalam penambangan endapan bijih tipis (Imashev, 2024).

Kegiatan penambangan bijih bauksit dengan sistem tambang terbuka *open cut*. Tanah penutup atau *overburden* dilakukan pengupasan (*stripping overburden*) dengan menggunakan alat mekanis *excavator* dan *dozer*, dipindahkan dan dikumpulkan di sekitar lapisan yang sudah dibuka dan apabila kegiatan tambang selesai, material *top soil* akan dikembalikan

lagi ke tempat semula (*back filling*) dan selanjutnya akan direklamasi (Darmody, 2015). Algoritma *machine learning* dapat digunakan sebagai alat yang andal untuk memperkirakan tingkat dilusi dalam metode *open stope mining*. Namun, beberapa penyesuaian mungkin diperlukan untuk meningkatkan akurasi pada lokasi tambang tertentu (Jorquera, 2023). Kurangnya urutan penambangan yang tepat akibat praktik ekstraksi bijih berkadar tinggi terlebih dahulu telah menyebabkan dilusi tak terencana dan rendahnya *recovery* bijih, karena terbentuknya blok di dalam tubuh bijih (Ngoma, 2020.)

Bauksit yang ekonomis untuk ditambang menurut standar metalurgi memiliki komponen aluminium

oksida atau alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) > 45%, Ferrioksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) < 20%, dan < 5% silikon dioksida atau silika ( $\text{SiO}_2$ ) (Gow dan Gian 1993). Bauksit pada penelitian ini memiliki kandungan unsur geokimia  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{SiO}_2$  yang dominan akan menghasilkan kandungan  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang cukup signifikan pada larutan sodium aluminat (Eibrahimi, 2013). Larutan sodium aluminat yang dihasilkan dari bauksit dengan batuan induk gabro akan lebih bernilai ekonomis dibandingkan bauksit yang berasal dari batuan induk granodiorit (Wulansari, 2016).

Hasil kegiatan penambangan yang berupa realisasi penambangan (*mine actual*) selanjutnya dilakukan perbandingan kualitas dan kuantitas berdasarkan rencana penambangan yang sebelumnya telah dibuat (*mine plan*) (Erten, 2012). Data kualitas kadar *actual* dapat diperoleh setelah dilakukan pemuatan dan pengangkutan bijih ke *stock pile*. Kuantitas realisasi penambangan diperoleh dari pengukuran survey kemajuan tambang dan juga pengukuran survey di *stock pile*. Perbandingan kualitas dan kuantitas berfungsi untuk mengetahui kesesuaian data *plan* dan *actual*, sehingga perlu dilakukan perhitungan persentase dilusi dan analisis pengaruh dilusi  $\text{SiO}_2$  terhadap  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Oktori, 2018).

Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk menganalisis persentase dilusi terhadap bijih bauksit, menganalisis perbedaan kadar  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{SiO}_2$  antara *plan* dan *actual* penambangan dan menganalisis pengaruh dilusi  $\text{SiO}_2$  terhadap kadar  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

## METODE PENELITIAN

Teknik yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif, yaitu dengan mengumpulkan data (*sampling*) yang representatif, sehingga dapat digeneralisasikan di daerah penelitian. Data tersebut diolah dan dianalisis sehingga dihasilkan sintesis. Pada penelitian ini juga dilakukan studi perbandingan dari kasus sejenis untuk mendapatkan pendekatan, sehingga dapat membantu pemecahan masalah yang dihadapi. Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Melakukan studi literatur berupa pemahaman melalui studi kasus dari jurnal ilmiah internasional maupun nasional, buku, dan artikel di *internet* yang berkaitan

dengan masalah dalam penelitian ini. Untuk menentukan langkah-langkah kerja yang akan dilakukan, maka pengumpulan studi pustaka dari penelitian dengan kasus terkait akan menjadi pedoman dasar yang penting.

2. Melakukan observasi lapangan berupa analisis di Pertambangan Bauksit di Kabupaten Sanggau, Provinsi Kalimantan Barat.
3. Melakukan pengumpulan data, seperti mengikuti kegiatan *grade control* dengan melakukan prosedur *sampling* dan *inventory* sesuai ISO 8685-1992. Data yang didapat dari proses *sampling* di *site* akan dilakukan pengujian laboratorium. Disamping itu juga melakukan pengumpulan data seperti peta geologi regional, peta topografi, peta morfologi, peta kesampaian daerah, dan lain-lain.
4. Melakukan pengolahan data kadar *plan* dan *actual* dari data yang telah diperoleh. Pengolahan data meliputi :
  - a. Pengelompokan basis data (*plan* dan *actual* penambangan )
  - b. Melakukan analisis statistik *univariate* dan histogram.
  - c. Melakukan validasi silang (*cross validation*) untuk mengetahui beda kadar.
  - d. Menganalisis potensi dilusi akibat  $\text{SiO}_2$ .

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Basis data dan analisis statistik

Basis data adalah keseluruhan data yang diperoleh dari data perencanaan tambang (*plan*) dan data *stockpile* (*actual*). Data tersebut terdiri dari data kadar *plan* dan *actual*. Langkah selanjutnya adalah melakukan cek dan koreksi data untuk memastikan data dalam keadaan *valid*, dapat diandalkan (*reliable*) dan konsisten. Kegiatan tersebut meliputi pemeriksaan terhadap seluruh data kadar *plan* dan *actual*. Jumlah blok yang dijadikan sampel adalah 3 blok dengan 48 data sampel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  per minggu dan 48 data sampel  $\text{SiO}_2$  per minggu.

Analisis statistik dilakukan terhadap data *plan* dan *actual*. Analisis ini berfungsi untuk mengetahui karakteristik antar data. Karakteristik antar data tersebut akan digunakan untuk analisis sebaran data. Hasil analisis statistik dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

**Tabel 1.** Hasil analisis statistik kadar *plan* dan *actual*  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Parameter	Plan	Actual
Data (n)	48	48
Minimum Value	47%	46%
Maximum Value	52%	51%
Mean	49,15%	48,31%
Median	49%	48%
Variance	1,57	1,92
Standard Deviation	1,25	1,39
Coeff. of Variation	0,03	0,03
Skewness	0,66	0,75
Kurtosis	0,05	-0,16

Dari analisis statistik pada Tabel 1, menunjukkan bahwa data *plan*  $\text{Al}_2\text{O}_3$  memiliki koefisien variansi (CV) senilai 0,03 dan data *actual* memiliki nilai CV 0,03. Data *plan* dan *actual* sama-sama bernilai kurang dari 0,5 (Isaaks dan Srivastava, 1989). Hal ini menunjukkan bahwa sampel bersifat baik (*homogen*). Nilai *skewness* data *plan*

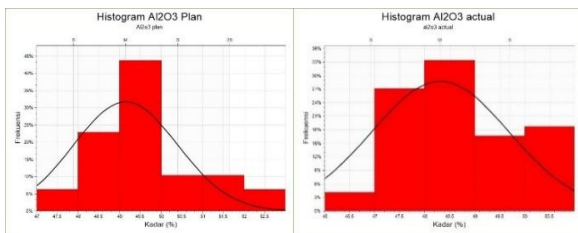
senilai 0.66 dan nilai *skewness* data *actual* senilai 0.75. *Skewness* yang positif menunjukkan bahwa nilai tengah (*median*) lebih kecil dari nilai rata-rata (*mean*) dan merupakan kecenderungan distribusi kadar yang rendah.

Nilai *kurtosis* data *plan* senilai 0,05 dan nilai *kurtosis* data *actual* senilai -0.16. frekuensi sekitar 49,5 % kadar  $Al_2O_3$  dan data *actual* memiliki puncak dengan frekuensi sekitar 48,5 % kadar  $Al_2O_3$ . Hasil dengan satu puncak tidak perlu penanganan statistik lagi karena hasilnya tidak bimodal (memiliki satu populasi).

**Tabel 2.** Hasil analisis statistik kadar *plan* dan *actual*  $SiO_2$

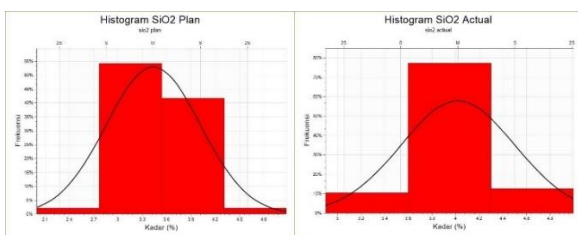
Parameter	Plan	Actual
Data (n)	48	48
Minimum Value	2%	3%
Maximum Value	5%	5%
Mean	3.44%	4.02%
Median	3%	4%
Variance	0.34	0.23
Standard Deviation	0.58	0.48
Coeff. of Variation	0.17	0.12
Skewness	0.34	0.33
Kurtosis	0,68	-0.14

Dari analisis statistik pada Tabel 2, menunjukkan bahwa data *plan*  $SiO_2$  memiliki koefisien variansi (CV) senilai 0.17 dan data *actual* memiliki nilai CV 0.12. Data *plan* dan *actual* sama-sama bernilai lebih kecil dari 0,5. Hal ini menunjukkan bahwa sampel bersifat baik (*homogen*). Nilai *skewness* data *plan* senilai 0.34 dan nilai *skewness* data *actual* senilai 0.33. *Skewness* yang positif menunjukkan bahwa nilai tengah (*median*) lebih kecil dari nilai rata-rata (*mean*) dan merupakan kecenderungan distribusi kadar yang rendah. Nilai *kurtosis* data *plan* senilai 0,68 dan nilai *kurtosis* data *actual* senilai -0.14.



Gambar 1. Histogram  $Al_2O_3$  *plan* dan *actual*

Berdasarkan hasil histogram data *plan* dan data *actual*  $Al_2O_3$  (Gambar 1) menunjukkan data memiliki satu puncak atau satu populasi. Data *plan* memiliki puncak dengan frekuensi sekitar 49,5 % kadar  $Al_2O_3$  dan data *actual* memiliki puncak dengan frekuensi sekitar 48,5 % kadar  $Al_2O_3$ . Hasil dengan satu puncak tidak perlu penanganan statistik lagi karena hasilnya tidak bimodal (memiliki satu populasi).



Gambar 2. Histogram  $SiO_2$  *plan* dan *actual*

Berdasarkan hasil histogram data *plan* dan data *actual*  $SiO_2$  (Gambar 2) menunjukkan data memiliki 1 (satu) puncak atau 1 (satu) populasi. Data *plan* memiliki puncak dengan frekuensi sekitar 3,4% kadar  $SiO_2$  dan data *actual* memiliki satu puncak dengan frekuensi sekitar 3,9 % kadar  $SiO_2$ . Hasil dengan satu puncak tidak perlu penanganan statistik lagi karena hasilnya tidak bimodal (memiliki satu populasi).

Akurasi teknik perbandingan kadar *plan* dan *actual* yang dilakukan adalah dengan validasi silang. Hasil kadar *plan* akan dibandingkan dengan kadar *actual* dengan validasi silang (*cross validation*) untuk mengevaluasi akurasi data kadar *plan* dibandingkan data kadar *actual*.

**PRESENTASE DILUSI  $SiO_2$  TERHADAP BIJIH BAUKSIT**

Perusahaan melakukan proses penambangan yang sedikitnya juga mengambil pengotor (*waste*) dari *kong (bedrock)* yang mengandung  $SiO_2$  kadar tinggi. Dari proses ini, kemudian bijih diangkut menuju *stockpile*. Dengan demikian, proses ini dapat mengakibatkan tercampurnya bijih bauksit dengan *waste* walaupun persentase dilusi kecil. Proses ini menjadi faktor utama dilusi dan mengurangi kualitas bauksit atau mengurangi kadar  $Al_2O_3$  dalam bijih bauksit. Persentase dilusi dari  $SiO_2$  (*waste*) dihitung dari perbandingan tonase bauksit *actual* dengan tonase bauksit *plan*.



Gambar 3. Proses penambangan bauksit



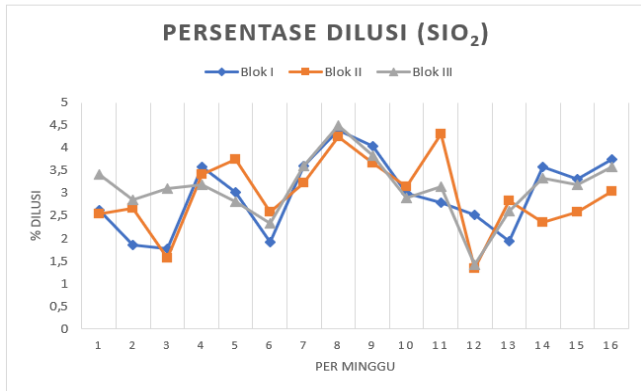
Gambar 4. Lokasi pengambilan sampel *actual* di *stockpile*

**Tabel 3.** Persentase dilusi  $SiO_2$  terhadap bijih bauksit

Date	Blok I		Blok II		Blok III	
	Dilusi (%)	Tonase setelah dilusi	Dilusi (%)	Tonase setelah dilusi	Dilusi (%)	Tonase setelah dilusi
Mgg 1	2,63	19.422,68	2,54	18.926,96	3,42	17.744,25
Mgg 2	1,86	19.198,28	2,66	18.831,82	2,86	19.059,39
Mgg 3	1,77	20.204,1	1,57	18.559,1	3,11	19.386
Mgg 4	3,57	17.770,14	3,42	18.168,58	3,19	18.169,59
Mgg 5	3,03	17.692,62	3,75	20.391,42	2,81	20.105,42
Mgg 6	1,92	20.354,52	2,58	19.001,35	2,33	18.212,32
Mgg 7	3,60	20.425,42	3,23	19.276,92	3,61	20.215,25
Mgg 8	4,40	19.142,26	4,24	18.349,52	4,50	19.362,79
Mgg 9	4,03	18.121,97	3,65	20.127,45	3,84	17.845,01
Mgg 10	3,01	19.136,93	3,15	19.979,86	2,89	18.572,17
Mgg 11	2,80	20.271,51	4,30	19.745,85	3,14	17.633,83
Mgg 12	2,52	20.182,67	1,33	19.045,37	1,43	18.492,3
Mgg 13	1,94	19.765,08	2,83	19.491,87	2,60	18.434,15

Mgg 14	3,59	18.555,6	2,34	17.912,21	3,33	19.390,46
Mgg 15	3,31	19.232,25	2,59	20.070,75	3,19	18.427,82
Mgg 16	3,75	19.386,08	3,04	18.509,09	3,57	18.386,74

Keterangan :  
Mgg = Minggu



Gambar 5. Grafik Persentase dilusi SiO<sub>2</sub> selama 16 minggu blok I, blok II, dan blok III

Pada Tabel 3 dan Gambar 5 di atas menunjukkan bahwa % dilusi masih di bawah 5%. Standar dilusi yang

dibatasi oleh perusahaan maksimal sebesar 5%. Persentase dilusi pada blok I, blok II, dan blok III dengan nilai terkecil secara berturut-turut yaitu 1,77% (minggu ke 3), 1,33% (minggu ke 12), dan 1,43% (minggu ke 12). Persentase dilusi pada blok I, blok II, dan blok III dengan nilai terbesar secara berturut-turut yaitu 4,40% (minggu ke 8), 4,30% (minggu ke 11), dan 4,50% (minggu ke 8). Persentase dilusi rata-rata pada blok I, blok II, dan blok III secara berturut-turut yaitu 2,98%, 2,95%, dan 3,11%.

**PERBEDAAN KADAR Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> PLAN DAN ACTUAL**

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui besarnya kadar relatif pada parameter Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> antara *plan* dan *actual*. Kadar Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> akan berubah jika adanya dilusi SiO<sub>2</sub> pada *kong* yang tercampur pada saat *ore getting*. Dilusi tidak dapat dihindarkan, namun dilusi dapat diminimalikan dengan membuat model estimasi cadangan yang baik dengan aplikasi 3 dimensi yang lebih menggambarkan keadaan aktual. Penelitian ini melakukan estimasi cadangan metode daerah pengaruh (*Area of influence* sehingga tidak diketahui pasti bentuk badan bijihnya (*ore body*)).

Tabel 4. Beda kadar *plan* dan *actual* blok I

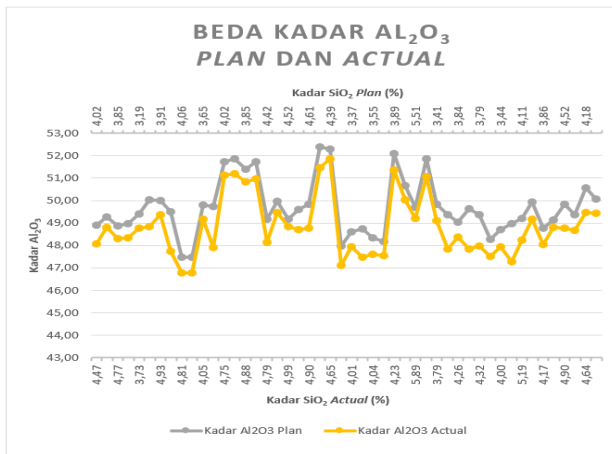
Date	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> plan (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> actual (%)	Beda kadar (%)	Q (%)	Ket.	SiO <sub>2</sub> plan (%)	SiO <sub>2</sub> actual (%)	Beda kadar (%)	Q (%)	Ket.
Mgg 1	48,92	48,07	-0,85	-1,74	A < P	4,02	4,47	0,45	11,19	A > P
Mgg 2	49,29	48,81	-0,48	-0,97	A < P	3,68	4,15	0,47	12,77	A > P
Mgg 3	48,87	48,32	-0,55	-1,13	A < P	3,85	4,77	0,92	23,81	A > P
Mgg 4	48,99	48,34	-0,65	-1,33	A < P	3,81	4,82	1,01	26,4	A > P
Mgg 5	49,41	48,78	-0,63	-1,28	A < P	3,19	3,73	0,54	16,93	A > P
Mgg 6	50,04	48,83	-1,21	-2,42	A < P	2,86	3,93	1,07	37,41	A > P
Mgg 7	50,02	49,38	-0,64	-1,28	A < P	3,91	4,93	1,02	26,21	A > P
Mgg 8	49,49	47,75	-1,74	-3,52	A < P	3,84	4,49	0,65	16,84	A > P
Mgg 9	47,47	46,78	-0,69	-1,45	A < P	4,06	4,81	0,75	18,47	A > P
Mgg 10	47,47	46,78	-0,69	-1,45	A < P	4,11	4,87	0,76	18,49	A > P
Mgg 11	49,8	49,18	-0,62	-1,24	A < P	3,65	4,05	0,40	10,96	A > P
Mgg 12	49,75	47,91	-1,84	-3,7	A < P	3,98	4,46	0,49	12,28	A > P
Mgg 13	51,75	51,15	-0,6	-1,16	A < P	4,02	4,75	0,73	18,19	A > P
Mgg 14	51,85	51,21	-0,64	-1,23	A < P	3,68	4,67	0,99	26,86	A > P
Mgg 15	51,4	50,83	-0,57	-1,11	A < P	3,85	4,88	1,03	26,77	A > P
Mgg 16	51,72	50,96	-0,76	-1,47	A < P	3,81	4,59	0,77	20,2	A > P

Tabel 5. Beda kadar *plan* dan *actual* blok II

Date	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> plan (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> actual (%)	Beda kadar (%)	Q (%)	Ket.	SiO <sub>2</sub> plan (%)	SiO <sub>2</sub> actual (%)	Beda kadar (%)	Q (%)	Ket.
Mgg 1	49,83	49,12	-0,7143	-1,43	A < P	3,41	3,79	0,38	11,23	A > P
Mgg 2	49,37	47,84	-1,5241	-3,09	A < P	3,86	4,16	0,30	7,66	A > P
Mgg 3	49,05	48,37	-0,6805	-1,39	A < P	3,84	4,26	0,42	11,05	A > P
Mgg 4	49,63	47,83	-1,8018	-3,63	A < P	3,12	3,70	0,58	18,59	A > P
Mgg 5	49,36	47,97	-1,3903	-2,82	A < P	3,79	4,32	0,53	13,91	A > P
Mgg 6	48,28	47,50	-0,7815	-1,62	A < P	4,21	4,61	0,39	9,26	A > P
Mgg 7	48,71	47,93	-0,7737	-1,59	A < P	3,44	4,00	0,56	16,28	A > P
Mgg 8	48,99	47,27	-1,7145	-3,5	A < P	3,11	3,99	0,88	28,3	A > P
Mgg 9	49,20	48,23	-0,9783	-1,99	A < P	4,11	5,19	1,08	26,28	A > P
Mgg 10	49,93	49,17	-0,7645	-1,53	A < P	3,69	4,06	0,37	10,03	A > P
Mgg 11	48,77	48,06	-0,7186	-1,47	A < P	3,86	4,17	0,31	8,031	A > P
Mgg 12	49,13	48,81	-0,3135	-0,64	A < P	4,31	4,70	0,39	9,049	A > P
Mgg 13	49,84	48,79	-1,054	-2,11	A < P	4,52	4,90	0,38	8,407	A > P
Mgg 14	49,36	48,68	-0,681	-1,38	A < P	4,24	4,84	0,60	14,24	A > P
Mgg 15	50,56	49,46	-1,098	-2,17	A < P	4,18	4,64	0,46	10,96	A > P
Mgg 16	50,08	49,44	-0,644	-1,29	A < P	4,28	4,79	0,51	12	A > P

Tabel 6. Beda kadar *plan* dan *actual* blok III

Date	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <i>plan</i> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <i>actual</i> (%)	Beda kadar (%)	Q (%)	Ket.	SiO <sub>2</sub> <i>plan</i> (%)	SiO <sub>2</sub> <i>actual</i> (%)	Beda kadar (%)	Q (%)	Ket.
Mgg 1	49,16	48,16	-1,0024	-2,04	A < P	4,42	4,79	0,37	8,371	A > P
Mgg 2	49,96	49,46	-0,4951	-0,99	A < P	4,85	5,11	0,26	5,344	A > P
Mgg 3	49,16	48,84	-0,3239	-0,66	A < P	4,52	4,99	0,47	10,4	A > P
Mgg 4	49,60	48,71	-0,8901	-1,79	A < P	4,93	5,57	0,64	12,93	A > P
Mgg 5	49,84	48,79	-1,054	-2,11	A < P	4,61	4,90	0,29	6,291	A > P
Mgg 6	52,41	51,46	-0,9467	-1,81	A < P	3,71	4,04	0,33	8,895	A > P
Mgg 7	52,30	51,85	-0,451	-0,86	A < P	4,39	4,65	0,26	5,969	A > P
Mgg 8	47,97	47,10	-0,8768	-1,83	A < P	4,43	5,37	0,94	21,22	A > P
Mgg 9	48,60	47,95	-0,65	-1,34	A < P	3,37	4,01	0,64	18,93	A > P
Mgg 10	48,73	47,47	-1,26	-2,59	A < P	3,14	4,04	0,90	28,66	A > P
Mgg 11	48,34	47,62	-0,72	-1,49	A < P	3,55	4,04	0,49	13,87	A > P
Mgg 12	48,17	47,55	-0,6234	-1,29	A < P	3,98	4,46	0,48	12,2	A > P
Mgg 13	52,10	51,36	-0,7436	-1,43	A < P	3,89	4,23	0,34	8,788	A > P
Mgg 14	50,68	50,05	-0,6283	-1,24	A < P	4,75	5,32	0,57	12,07	A > P
Mgg 15	49,71	49,22	-0,4889	-0,98	A < P	5,51	5,89	0,38	6,877	A > P
Mgg 16	51,85	51,08	-0,7726	-1,49	A < P	4,52	4,97	0,45	9,855	A > P



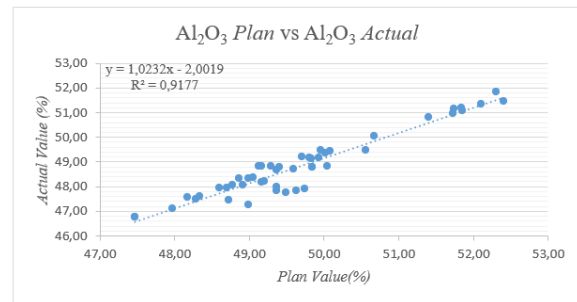
Gambar 6. Grafik beda kadar Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> *plan* dan *actual*

Berdasarkan grafik pada Gambar 6, kadar Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mengalami perubahan penurunan kadar dari *plan* ke *actual*. Hal ini disebabkan oleh perubahan bertambahnya kadar SiO<sub>2</sub> dari *plan* ke *actual* dengan persentase perbedaan kadar rata-rata sebesar 15,2%. Penurunan kadar Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> rata-rata dari *plan* ke *actual* sebesar -0,84% dengan persentase perbedaan kadar rata-rata sebesar -1,71%. Nilai penurunan kadar tersebut masih tergolong rendah dan masih dalam standar nilai perusahaan.

Keterangan pada Tabel 4 s/d tabel 6 adalah Q (%) : Persentase Perbedaan Kadar, A<P : kadar *actual* kurang dari kadar *plan* (-), A>P : kadar *actual* lebih dari kadar *plan* (+).

**PENGARUH DILUSI SiO<sub>2</sub> TERHADAP KADAR Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

Analisis pengaruh dilusi SiO<sub>2</sub> terhadap kadar Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dilakukan menggunakan metode validasi silang dengan *scatter plot*. Hasil validasi silang akan menunjukkan hubungan antara kadar *plan* Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (*estimated value*) dan data *actual* kadar Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (*true value*) dengan parameter koefisien korelasi (r), koefisien determinasi (r<sup>2</sup>), Y-intercept, *slope*, dan derajat *slope*.



Gambar 7. *Scatter plot* (x,y) *plan* (*estimated value*) dan *actual* (*true value*) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Tabel 7. Hasil regresi linier validasi silang kadar *plan* dan *actual*

% kadar	koefisien korelasi (r)	koefisien determinasi (r <sup>2</sup> )	Y-intercept	<i>slope</i>	derajat <i>slope</i>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,95	0,917	1,023	-2,00	43,3°

Berdasarkan Gambar 7 dan Tabel 7, nilai koefisien korelasi (r) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> senilai 0,95 dan memiliki nilai koefisien relasi (r) yang mendekati 1, nilai derajat *slope* senilai 43,3°. Hal ini menunjukkan ada beda kadar yang tidak signifikan untuk kadar Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> antara *plan* dan *actual*. Namun adanya dilusi SiO<sub>2</sub> ternyata terbukti berpengaruh terhadap penurunan kualitas kadar Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hanya saja masih tergolong kecil nilainya karena *waste* yang terambil sebagai penyebab dilusi masih < 5%.

Hal yang perlu dilakukan untuk memperkecil pengaruh dilusi SiO<sub>2</sub> terhadap kadar Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adalah dengan cara menghindari terjadinya *over cut* sehingga SiO<sub>2</sub> dalam *kong* tidak terambil. Desain tambang 3 (tiga) dimensi sangat penting dibuat untuk mengetahui sampai dimana batas penggalian bijih bauksit. Penerapan *grade control* harus dilakukan secara efektif sehingga tidak terjadi peningkatan volume material pengotor (*increase dilution*). Pentingnya penyesuaian model prediktif terhadap konteks geologi yang spesifik, dan menunjukkan potensi besar dari teknik machine learning dalam memprediksi dilusi pada kondisi penambangan bawah tanah yang kompleks (Rodrigues, 2025).

**KESIMPULAN**

Persentase dilusi akibat SiO<sub>2</sub> dilusi masih di bawah 5%.

Standar dilusi yang dibatasi oleh perusahaan maksimal sebesar 5%. Persentase dilusi pada blok I, blok II, dan blok III dengan nilai terkecil secara berturut-turut yaitu 1,77% (minggu ke 3), 1,33% (minggu ke 12), dan 1,43% (minggu ke 12). Persentase dilusi pada blok I, blok II, dan blok III dengan nilai terbesar secara berturut-turut yaitu 4,40% (minggu ke 8), 4,30% (minggu ke 11), dan 4,50% (minggu ke 8). Persentase dilusi rata-rata pada blok I, blok II, dan blok III secara berturut-turut yaitu 2,98%, 2,95%, dan 3,11%. Kadar  $Al_2O_3$  mengalami perubahan penurunan kadar dari *plan* ke *actual*. Hal ini disebabkan oleh perubahan bertambahnya kadar  $SiO_2$  dari *plan* ke *actual* dengan persentase perbedaan kadar rata-rata sebesar 15,2%. Penurunan kadar  $Al_2O_3$  rata-rata dari *plan* ke *actual* sebesar -0,84% dengan persentase perbedaan kadar rata-rata sebesar -1,71%. Nilai penurunan kadar tersebut masih tergolong rendah dan masih dalam standar nilai perusahaan. Analisis pengaruh dilusi  $SiO_2$  terhadap kadar  $Al_2O_3$  menggunakan metode validasi silang yang menghasilkan nilai koefisien korelasi ( $r$ )  $Al_2O_3$  senilai 0,95 dan memiliki nilai koefisien relasi ( $r$ ) yang mendekati 1, nilai derajat *slope* senilai 43,3°. Hal ini menunjukkan ada beda kadar yang tidak signifikan untuk kadar  $Al_2O_3$  antara *plan* dan *actual*. Namun adanya dilusi  $SiO_2$  ternyata terbukti berpengaruh terhadap penurunan kualitas kadar  $Al_2O_3$  hanya saja masih tergolong kecil nilainya karena *waste* yang terambil sebagai penyebab dilusi masih < 5%.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada pihak perusahaan yang bersedia menerima penulis melakukan penelitian di *site* dan di *stockpile*. Ucapan terimakasih juga kepada rekan-rekan peneliti dan penulis atas kerjasama yang baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Darmody, R., 2015., Journal of the American Society of Mining and Reclamation
- Ebrahimi, A., 2013, The Importance of Dilution Factor For Open Pit Mining Project, *World Mining COngress, Montreal 2013*.
- Erten, O., 2012, Profiling and mining control to mitigate dilution effect from  $SiO_2$  at the base of a bauxite deposit.
- Githiria, J., 2018., Comparisson of Cut of Grade Models in Mine Planning for Improved Value Creation Based on NPV
- Gow, N.N., Gian, P.L., 1993, Bauxite. Ore Deposits Model, *Vol. 2*
- Imashev, A. Z., Suimbaeva, A. M., Musin, A. A., 2024, Predictive Assessment of Ore Dilution in Mining Thin Steeply Dipping Deposits by System of Sublevel Drifts, *Journal of Mining Institute Vol. 266, Kazakhstan*.
- Isaaks, E., Srivastava, R.M., 1989, An Introduction to Applied Geostatistics, *New York : Oxford University Press*.
- Jorquera, M., Korzeniowski, W., Skrzypkowski, K., 2023, Prediction of Dilution in Sublevel Stopping Through Machine Learning algorithms, *IOP Conference Series : Earth and Enviromental Science, Washington State*.
- Kwiri, J., 2017., Mine Planning and Optimization Techniques Used in Surface Mining
- Narita, S., 2016., Open Cut Mining of Tsutsumizawa Deposit at Hanaoka Mine
- Ngoma, K., Mutambo, V., 2020, Factor Influencing Ore Recovery and Unplanned Dilution in Sublevel Open Stopes. Case Study of Shaft No. 4 at Konkola Mine, Zambia, *Current World Environment Vol. 15, University of Zambia, Zambia*
- Oktori, P., 2018., Analisis faktor terjadinya dilusi di Front penambangan pada Dig Line A dan Dig Line B Elevasi 50 – 47,5 MdpI di Pit North Kuning PT. Kasongan Bumi Kencana, Katingan, Provinsi Kalimantan Tengah
- Rodrigues, C. O., Matos, J. M. V., Dos Santos, T. B., Santos, A. E.M., 2025, A New Approach to Dilution Prediction of Underground Mine Gold Using Computing Techniques, *Annals of The Brazilian Academy of Sciences*,
- Wulansari, D., Setiadji, L.D., 2016., Karakteristik Kandungan Mineral Dalam Bauksit Dengan Metode XRD Semi-Kuantitatif Di Kawasan Tambang Tayan, Kalimantan Barat, *Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada, Proceeding Seminar Nasional Kebumian Ke-9, Hal. 612-623*.
- \_\_\_\_\_, Standart ISO 8685-1992, *Sampling Procedure for Aluminium Oxida*