

ANALISIS PENGARUH Na_2CO_3 DAN TEMPERATUR PADA ROASTING OKSIDATIF SELEKTIF UNTUK PENURUNAN KADAR CHROMIUM

¹Agris Setiawan, ¹Raffif Nurfaiz*

¹Teknik Metalurgi, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

*Penulis korespondensi: 116220023@student.upnvyk.ac.id

Abstrak.

Kromium (Cr) merupakan kontaminan utama dalam residu flotasi yang mengandung platinum (Pt), yang menyebabkan kesulitan dalam ekstraksi hidrometalurgi langsung akibat resistansi tinggi terhadap pelarutan dan perilaku pasivasi. Penelitian ini mengkaji efektivitas pemanggangan oksidatif selektif menggunakan natrium karbonat (Na_2CO_3) pada suhu 800 °C dan 1050 °C untuk mengubah Cr(III) dalam residu yang kaya kromit menjadi senyawa Cr(VI) yang larut dalam air. Pemisahan air pasca-pemanggangan dilakukan untuk menghilangkan kromium sambil mempertahankan Pt dalam fase padat. Hasil menunjukkan penghilangan kromium yang signifikan, dengan konsentrasi kromium pada residu awal 164.558,46 g/t berkurang menjadi 57.260,76 g/t pada 800 °C dan 39.645,75 g/t pada 1050 °C, sementara konsentrasi Pt meningkat menjadi 502,96 g/t pada 1050 °C akibat dekomposisi matriks dan pelarutan selektif fase kromium. Berdasarkan neraca massa, proses ini mencapai efisiensi ekstraksi kromium sekitar 95,6% pada 800 °C dan 59,2% pada 1050 °C, meskipun kadar Cr akhir (dalam g/t) lebih rendah pada suhu 1050 °C. Peningkatan kadar Pt pada residu tidak sepenuhnya mencerminkan peningkatan perolehan (recovery) Pt secara massa absolut, karena neraca massa Pt menunjukkan sebagian Pt turut hilang selama tahap water leaching. Temuan ini membuktikan bahwa proses pemanggangan oksidatif yang dibantu Na_2CO_3 diikuti dengan pelarutan air merupakan rute pra-perlakuan yang layak untuk mengoptimalkan pemulihan platinum dari residu flotasi sebelum ekstraksi hidrometalurgi, dengan catatan bahwa parameter proses pada suhu 800 °C memberikan efisiensi ekstraksi Cr yang lebih tinggi dibandingkan 1050 °C.

Kata kunci: Platinum; Kromium; Hidrometalurgi; Natrium Karbonat

Abstract.

Chromium (Cr) is a major impurity in flotation residues containing platinum (Pt), causing difficulties in direct hydrometallurgical extraction due to its high resistance to dissolution and passivation behavior. This study investigates the effectiveness of selective oxidative roasting using sodium carbonate (Na_2CO_3) at temperatures of 800 °C and 1050 °C to convert Cr(III) in chromite-rich residues into water-soluble Cr(VI) compounds. Post-roasting water leaching was conducted to remove chromium while retaining Pt in the solid phase. Results demonstrate significant Cr elimination, with concentration in the initial residue (164,558.46 g/t) reduced to 57,260.76 g/t at 800 °C and 39,645.75 g/t at 1050 °C, while Pt concentration increased to 502.96 g/t at 1050 °C due to matrix decomposition and selective dissolution of Cr phases. Based on mass balance, the process achieved a Cr extraction efficiency of approximately 95.6% at 800 °C and 59.2% at 1050 °C, even though the final Cr grade (in g/t) was lower at 1050 °C. The apparent increase in Pt grade does not fully reflect an increase in absolute Pt recovery, as the Pt mass balance shows that part of the Pt was also lost during water leaching. These findings confirm that Na_2CO_3 -assisted oxidative roasting followed by water leaching is a feasible pre-treatment route to optimize Pt recovery from flotation residues prior to hydrometallurgical extraction, noting that the 800 °C condition yielded a higher Cr extraction efficiency than 1050 °C.

Keywords: Platinum; Chromium; Hydrometallurgy; Sodium Carbonate

1. Pendahuluan

Logam-logam golongan platinum (PGM) merupakan kelompok enam logam transisi dari blok d, yang berada di golongan 8, 9, dan 10, serta periode 5 dan 6. Kelompok ini terdiri dari rutenium (Ru), rodium (Rh), paladium (Pd), osmium (Os), iridium (Ir), dan platinum (Pt). Secara kimiawi, unsur-unsur ini memiliki kemiripan sifat, yang disebabkan oleh konfigurasi elektron pada kulit 4d (untuk Ru, Rh, dan Pd) atau kulit 5d (untuk Os, Ir, dan Pt). Kegunaan utama PGM dalam industri dunia adalah produksi konverter katalitik yang berfungsi mengurangi emisi gas berbahaya dari kendaraan. Fungsi ini menjadikan PGM sebagai komponen vital dalam upaya pengendalian polusi dan menjaga kualitas lingkungan (Hughes et al., 2021). Mineral-mineral PGM ini umumnya ditemukan dalam deposit sulfida. Namun, dapat ditemukan dalam mineral oksida seperti mineral kromitit ophiolite (FeCr_2O_4). Kromitit ophiolite merujuk pada endapan mineral kromit yang ditemukan dalam kompleks batuan ofiolit sebagai sumber PGM dari mineral oksida (Cui et al., 2019).

Kandungan logam golongan platinum (PGM) unsur platina (Pt) dalam bijih yang diolah di PT Global Mineralium Corporindo setelah dilakukan pengkonsentrasian menggunakan metode gravity separation adalah 1.198 g/ton. Melalui flotasi, kandungan Pt ini dikonsentrasikan sebagai residu flotasi setelah dipisahkan dengan pirit (FeS_2) yang mengandung emas (Au) menjadi 1.461 g/ton. Residu flotasi ini merupakan residu dengan jenis mineral oksida. Karena pada saat dilakukan kontak dengan reagen flotasi, hanya pirit yang mengalami hidrofobik (tidak suka air) kemudian terangkat sebagai konsentrat pembawa emas. Sementara Pt tetap berada di residu sebagai mineral hidrofilik (suka air). Pt dalam residu flotasi ini memiliki nilai yang sangat signifikan untuk diproses lebih lanjut. Pengotor (gangue) utama dalam residu flotasi adalah Fe mencapai 22,42% dan Cr mencapai 20,53% (hasil analisis ICP-OES). Ekstraksi secara langsung menggunakan pelarut asam dengan melihat pengotor yang sangat tinggi hampir tidak mungkin dan boros secara ekonomi. Yousif (2019) melaporkan, PGM merupakan logam yang sangat inert (sulit larut) dan tahan terhadap korosi. PGM hanya dapat larut hanya dengan campuran asam kuat (terutama HCl) dan zat pengoksidasi kuat seperti asam nitrat, klorat, hipoklorit, asam perklorat, bromat, nitrat, atau ion kupri dalam jumlah yang relatif besar untuk melarutkan PGM selama periode waktu yang lama yang diperkirakan dalam hitungan jam.

Pelarutan residu yang mengandung Pt dan logam-logam pengotor yang sangat tinggi konsentrasinya secara langsung dengan sistem aqua regia (campuran dengan perbandingan 3 HCl dan 1 HNO_3) menyebabkan logam lainnya akan terekstraksi di dalam larutan pelindian. Sehingga akan semakin sulit dalam memisahkan Pt dengan logam pengotor dari larutan pelindian. Selain itu, keberadaan Fe dan Cr yang tinggi menyebabkan pelarutan logam dasar tidak efisien dan membutuhkan reagen asam dalam jumlah yang besar. Hal ini disebabkan oleh Fe dan terutama Cr yang tahan terhadap asam dan korosi akibat pasivasi oksidatif pada permukaan logam (Bhasker-Ranganath, Wick and Ramachandran, 2019); (Sibiri et al., 2019). Lapisan pasif yang terbentuk dari pasivasi kromat mengandung kromium heksavalen (Steven, 2008). Pasivasi adalah kondisi yang disertai dengan pembentukan lapisan tahan di permukaan, sehingga dapat mengurangi korosi secara signifikan. Hal ini terjadi dari pembentukan lapisan pelindung di permukaan logam (Moslehi et al., 2020). Hal ini menyebabkan ekstraksi Pt secara langsung menggunakan metode hydrometallurgy menjadi lebih sulit.

Hughes et al., (2021) melaporkan dalam penelitiannya bahwa pengolahan PGM secara flotasi langsung dengan metode hidrometalurgi dianggap tidak mungkin karena

komposisi larutan yang rumit dan tingkat perolehan yang rendah. Pada suhu kamar dan tekanan atmosfer, natrium sianida (NaCN) juga tidak dapat bereaksi dengan PGM seperti reaksinya dengan emas, karena kinetika yang buruk. Bijih ini sangat teroksidasi dengan kandungan sulfur hanya 0,1%. Komposisi mineral bijih teroksidasi sangat berbeda dari konsentrat flotasi sulfida. Untuk konsentrat flotasi sulfida, hampir tidak mungkin untuk mengekstrak PGM secara ekonomis menggunakan NaCN . Oleh karena itu, sejauh ini belum ada laporan tentang pengolahan bijih sulfida menggunakan metode sianidasi. Metode lain seperti peleburan memiliki dampak lingkungan yang serius dan alur proses yang panjang mengakibatkan hilangnya PGM. Ketika matte diolah dengan pelindian asam untuk memisahkan logam dasar, kandungan PGM dalam residu tidak pernah di atas 50%, yang menyebabkan kesulitan dalam pemurnian PGM.

Salah satu metode untuk recovery (pemulihan) Pt adalah dengan cara mengeliminasi logam dasar Cr terlebih dahulu. Metode dalam pemulihan Cr dari bijih yang mengandung Cr tinggi telah diselidiki dalam berbagai proses seperti pemanggangan soda abu (Na_2CO_3), pelindian asam, pelindian alkali, dan peleburan alkali. Metode ini dikembangkan untuk pengolahan bijih kromit guna menghasilkan natrium kromat (Na_2CrO_4), yang merupakan produk utama yang digunakan untuk pembuatan berbagai bahan kimia kromium; karena alasan ekonomi dan teknis, hanya pemanggangan soda abu (Na_2CO_3) yang telah digunakan di seluruh dunia dalam skala komersial, baik dalam rotary kiln atau dalam tungku perapian putar (Sanchez-Segado, Escudero-Castejón and Jha, 2025). Pemanggangan soda abu dari mineral kromit adalah satu-satunya metode yang digunakan di seluruh dunia untuk produksi natrium kromat yang larut dalam air. Dalam proses pemanggangan, bijih kromit dan soda abu dicampur dan kemudian dipanggang pada 1173-1473 K (899,85 °C – 1199,85 °C) dalam atmosfer oksidatif untuk mengoksidasi kromium trivalen spinel yang tidak larut menjadi kromat heksavalen yang larut dalam air (Tathavadkar, Antony and Jha, 2001).

Pemanggangan oksidatif Cr_2O_3 dengan adanya alkali juga dilaporkan oleh Sanchez-Segado, et al. (2025) menghasilkan natrium kromat (Na_2CrO_4) yang larut dalam air. Kinetika reaksi pemanggangan alkali reduktif bijih kromat Afrika Selatan diselidiki dalam atmosfer inert pada rentang suhu 350 °C hingga 1050 °C. Diamati bahwa kemampuan reduksi tertinggi dari kromat Afrika Selatan diamati untuk campuran reaktan dalam rasio berat krom : Na_2CO_3 : C = 1:1:0.2 yang direduksi pada 1050 °C selama 2,5 jam (Sanchez-Segado, Escudero-Castejón and Jha, 2025). Metode produksi industri natrium dikromat utamanya adalah metode pemanggangan oksidasi kromit, termasuk metode pemanggangan kalsium dan metode pemanggangan bebas kalsium. Proses produksinya adalah sebagai berikut: setelah kromit digiling, natrium karbonat dan batu kapur ditambahkan (metode pemanggangan kalsium) atau mengembalikan terak (metode pemanggangan bebas kalsium), pemanggangan oksidasi pada 950–1250 °C untuk mendapatkan klinker pemanggangan oksidasi kromit. Klinker dilarutkan dengan air dan disaring untuk mendapatkan larutan yang mengandung natrium kromat (Shaojun and Kuangdi, 2023).

Maka dalam penelitian ini metode pemanggangan soda abu (Na_2CO_3) akan diselidiki sebagai langkah awal untuk mengeliminasi pengotor kromium (Cr) dari residu flotasi yang mengandung platinum (Pt). Tujuannya adalah untuk meningkatkan kandungan Pt dalam residu, sehingga proses hidrometalurgi lebih lanjut untuk ekstraksi Pt dapat berjalan lebih efisien dan ekonomis. Proses ini diharapkan dapat mengatasi tantangan yang disebabkan oleh tingginya kadar Cr yang membentuk lapisan pasif dan menghambat pelarutan Pt secara langsung.

2. Bahan dan Metode

2.1. Bahan

Bahan yang digunakan meliputi residu flotasi sebanyak 250 gram, natrium karbonat (Na_2CO_3) sebanyak 300 gram, dan aquadest sebagai media pelindian. Residu didapat dari sisa pengolahan dari site perusahaan di batusopang, dengan kode GMC-RSD FLT-HG.

2.2. Metode

Penelitian diawali dengan proses preparasi sampel residu flotasi yang diperoleh dari hasil pengolahan bijih yang mengandung Platinum Group Metals (PGM). Sampel residu flotasi sebanyak 250 gram dicampurkan dengan natrium karbonat (Na_2CO_3) sebanyak 300 gram hingga diperoleh campuran yang homogen. Penambahan Na_2CO_3 dilakukan karena senyawa ini berfungsi sebagai agen alkali yang mampu meningkatkan reaktivitas kromium selama proses roasting oksidatif. Menurut Antony, Pownceby, dan Fisher-White (2001), penambahan natrium karbonat pada proses roasting kromit dapat mempercepat pembentukan senyawa natrium kromat yang larut dalam air sehingga mempermudah proses pemisahan kromium dari matriks mineralnya.

Campuran residu flotasi dan Na_2CO_3 kemudian dimasukkan ke dalam krusibel tahan panas dan dipanaskan menggunakan muffle furnace pada temperatur 800°C dan 1050°C selama 3 jam dalam kondisi atmosfer oksidatif. Variasi temperatur dipilih untuk mengevaluasi pengaruh energi termal terhadap tingkat oksidasi kromium dan efektivitas pembentukan senyawa kromat. Menurut Rao (1985), peningkatan temperatur roasting dapat meningkatkan laju difusi oksigen ke dalam partikel mineral sehingga reaksi oksidasi berlangsung lebih cepat dan lebih sempurna.



Gambar 1. Proses *Roasting* Sampel (Sumber internal)

Selama proses roasting, kromium trivalen [Cr(III)] yang terdapat dalam mineral kromit mengalami oksidasi menjadi kromium heksavalen [Cr(VI)] dan bereaksi dengan Na_2CO_3 membentuk natrium kromat (Na_2CrO_4). Menurut Habashi (1997), pembentukan natrium kromat merupakan tahapan penting dalam ekstraksi kromium karena senyawa tersebut memiliki kelarutan tinggi dalam air sehingga dapat dipisahkan melalui proses pelindian. Selain itu, roasting oksidatif juga dapat menyebabkan perubahan struktur mineral dan meningkatkan derajat liberasi logam berharga yang terperangkap dalam matriks pengotor.

Setelah proses roasting selesai, sampel didinginkan hingga mencapai suhu ruang kemudian dilakukan penggerusan menggunakan rod mill untuk memperkecil ukuran partikel dan meningkatkan luas permukaan kontak pada tahap pelindian. Ukuran partikel

yang lebih halus memungkinkan proses pelarutan berlangsung lebih efektif karena meningkatkan interaksi antara padatan dan larutan pelindi. Menurut Wills dan Finch (2016), reduksi ukuran partikel merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi efisiensi proses ekstraksi logam melalui jalur hidrometalurgi.

Produk roasting yang telah digerus kemudian dilindi secara bertahap menggunakan aquadest pada temperatur 80°C. Proses pelindian dilakukan untuk melarutkan senyawa natrium kromat yang terbentuk selama roasting sehingga kromium dapat dipisahkan dari residu padatan. Pelindian dilakukan dalam beberapa tahap (3 tahap untuk residu hasil roasting 1050°C dan 4 tahap untuk residu hasil roasting 800°C), masing-masing tahap berlangsung selama 1 jam pada suhu larutan 80°C. Rasio padat:cair (massa residu terhadap volume aquadest) dan volume air yang digunakan pada setiap tahap disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter tahapan *water leaching*

Suhu Roasting	Tahap Leaching	Massa Umpan (g)	Volume Aquadest (mL)	Rasio Padat:Cair	Waktu (jam)	Suhu Larutan (°C)	Massa Residu Akhir (g)
1050°C	1	544	1270	1: 2,33	1	80	503
1050°C	2	503	1300	1: 2,58	1	80	462,7
1050°C	3	462,7	1300	1: 2,81	1	80	423
800°C	1	498	1115	1: 2,24	1	80	420,75
800°C	2	420,75	1000	1: 2,38	1	80	343,5
800°C	3	343,5	1000	1: 2,91	1	80	266,25
800°C	4	266,25	1000	1: 3,76	1	80	189

Setelah proses pelindian pada setiap tahap selesai, campuran dipisahkan melalui filtrasi untuk memperoleh larutan hasil pelindian (Pregnant Leach Solution/PLS) dan residu padatan yang kemudian dilindi kembali pada tahap berikutnya. Larutan hasil filtrasi dan residu padatan pada tahap akhir kemudian dianalisis menggunakan Inductively Coupled Plasma–Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) guna menentukan perubahan kadar unsur sebelum dan sesudah perlakuan. Analisis ICP-OES dipilih karena memiliki sensitivitas tinggi dan mampu mengukur konsentrasi unsur dalam jumlah kecil secara akurat. Data hasil analisis digunakan untuk mengevaluasi efektivitas roasting oksidatif dengan penambahan Na_2CO_3 terhadap penurunan kadar kromium dan peningkatan kadar platinum pada residu flotasi.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis ICP-OES menunjukkan bahwa proses roasting oksidatif menggunakan Na_2CO_3 memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan komposisi residu flotasi. Peningkatan temperatur roasting dari 800°C menjadi 1050°C meningkatkan efektivitas penghilangan kromium melalui pembentukan senyawa kromat yang larut air. Selain itu, berkurangnya kandungan pengotor menyebabkan konsentrasi relatif logam berharga dalam residu meningkat. Data hasil analisis sebelum dan sesudah roasting disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perubahan kadar Pt dan Cr akibat roasting oksidatif menggunakan Na_2CO_3

<i>ID Sample</i>	<i>Sample ID Description</i>	<i>Au (g/t)</i>	<i>Pt (g/t)</i>	<i>Rh (g/t)</i>	<i>Cr (g/t)</i>
GMC-RSD FLT-HG	Residu Flotasi (umpan awal)	LOD	1102,33	0,34	164.558,46
GMC-RSD FLT-RST-01	Residu Roasting 1050°C	LOD	502,96	0,84	78.050,17
GMC-RSD FLT-WL-TL-01	Residu Water Leaching 1050°C (akhir)	4,92	246,12	2,07	39.645,75
MGC-RSD FLT-RST-02	Residu Roasting 800°C	5,51	345,65	2,24	57.260,76
GMC-RSD FLT-WL-TL-02.B	Residu Water Leaching 800°C (akhir)	10,83	39,22	2,72	9.515,00

3.1. Perhitungan Efisiensi Ekstraksi Kromium

Untuk memverifikasi klaim penghilangan kromium secara kuantitatif, efisiensi ekstraksi Cr dihitung menggunakan neraca massa berdasarkan persamaan berikut:

$$\text{Efisiensi ekstraksi (\%)} = \left(1 - \frac{m_{\text{akhir}} \times C_{\text{Cr akhir}}}{m_{\text{awal}} \times C_{\text{Cr awal}}}\right) \times 100\%$$

dengan m = massa residu (gram) dan C_{Cr} = kadar Cr (g/t, setara ppm). Perhitungan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan efisiensi ekstraksi Cr

<i>Parameter</i>	800°C	1050°C
Massa umpan awal (g)	250	250
Kadar Cr umpan awal (g/t)	164.558,46	164.558,46
Massa Cr umpan awal (g)	41,14	41,14
Massa residu akhir (g)	189	423
Kadar Cr residu akhir (g/t)	9.515,00	39.645,75
Massa Cr residu akhir (g)	1,80	16,77
Efisiensi ekstraksi Cr (%)	≈ 95,6%	≈ 59,2%

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi ekstraksi Cr pada temperatur 800°C (≈95,6%) justru lebih tinggi dibandingkan pada temperatur 1050°C (≈59,2%), meskipun kadar Cr akhir dalam satuan g/t lebih rendah pada 1050°C. Hal ini terjadi karena massa residu akhir pada 1050°C (423 g) jauh lebih besar dibandingkan pada 800°C (189 g), sehingga meskipun konsentrasi Cr per satuan massa lebih rendah, massa total Cr yang tersisa secara absolut lebih besar. Temuan ini menegaskan bahwa evaluasi efektivitas roasting tidak dapat hanya didasarkan pada kadar (g/t), melainkan harus memperhitungkan neraca massa secara menyeluruh.

3.2. Pengaruh Temperatur Roasting terhadap Kadar Platinum

Berdasarkan Tabel 2, kadar Pt yang terukur pada residu hasil roasting menunjukkan nilai 345,65 g/t pada temperatur 800°C dan meningkat menjadi 502,96 g/t pada temperatur 1050°C. Peningkatan kadar Pt pada temperatur yang lebih tinggi menunjukkan bahwa roasting memberikan pengaruh terhadap pelepasan mineral pembawa platinum dari matriks pengotor yang didominasi oleh kromium dan besi. Namun, peningkatan kadar (konsentrasi) Pt ini tidak secara otomatis berarti peningkatan perolehan (recovery) Pt secara massa absolut, karena penurunan kadar Cr yang signifikan turut menyebabkan konsentrasi Pt “terpekatkan” secara relatif meskipun sebagian massa Pt turut hilang selama proses.

Untuk membedakan kedua hal tersebut, neraca massa Pt sebelum dan sesudah tahap roasting-leaching disajikan pada Tabel 4.

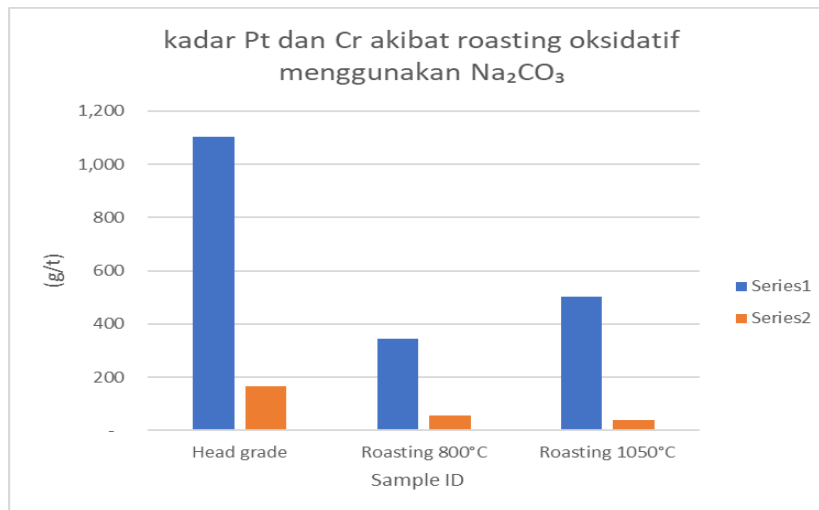
Tabel 4. Neraca massa Pt pada tahap *roasting* dan *water leaching*

Tahap	Massa Residu (g)	Kadar Pt (g/t)	Massa Pt (mg)
Umpan awal	250	1.102,33	275,58
Residu roasting 800°C	500	345,65	172,83
Residu akhir leaching 800°C	189	39,22	7,41
Residu roasting 1050°C	548	502,96	275,62
Residu akhir leaching 1050°C	423	246,12	104,11

$$\text{Massa Pt} = \text{kadar Pt (g/t)} \times \text{massa residu (g)} \div 1.000.000.$$

Neraca massa pada Tabel 4 menunjukkan bahwa massa Pt absolut justru menurun signifikan dari umpan awal ke residu akhir setelah water leaching, baik pada 800°C (dari 275,58 mg menjadi 7,41 mg) maupun pada 1050°C (dari 275,62 mg menjadi 104,11 mg). Dengan demikian, kenaikan kadar Pt (g/t) yang teramati pada Tabel 2 merupakan efek pemekatan relatif akibat hilangnya Cr dan unsur pengotor lain dari matriks residu, bukan indikasi bahwa Pt “bertambah” atau bahwa seluruh Pt berhasil dipertahankan dalam residu padat. Pada temperatur 1050°C, massa Pt yang dipertahankan pada residu akhir (104,11 mg) secara proporsional lebih besar dibandingkan pada 800°C (7,41 mg), sehingga dari sisi retensi Pt, kondisi 1050°C menunjukkan performa yang lebih baik meskipun efisiensi ekstraksi Cr-nya lebih rendah dibandingkan 800°C.

Temperatur yang lebih tinggi meningkatkan intensitas reaksi oksidasi serta perubahan struktur mineral selama proses roasting. Kondisi tersebut menyebabkan sebagian fase pengotor mengalami transformasi sehingga derajat liberasi mineral pembawa platinum meningkat. Akibatnya, platinum menjadi lebih terkonsentrasi pada residu setelah sebagian unsur pengotor terpisahkan melalui proses pelindian.



Gambar 2. Grafik Kadar Pt dan Cr akibat Roasting Oksidatif menggunakan Na_2CO_3

Meskipun kadar Pt setelah roasting masih lebih rendah dibandingkan kadar pada umpan awal, hasil ini menunjukkan bahwa temperatur 1050°C memberikan kondisi yang lebih efektif dibandingkan temperatur 800°C dalam mempertahankan dan mengonsentrasikan platinum pada residu, sebagaimana didukung oleh neraca massa Pt pada Tabel 4. Menurut Rao (1985), peningkatan temperatur roasting dapat mempercepat perubahan fase mineral dan meningkatkan peluang terjadinya pemisahan antara mineral berharga dan mineral pengotor. Dengan demikian, roasting pada temperatur yang lebih tinggi berpotensi meningkatkan efisiensi tahap pengolahan lanjutan untuk ekstraksi platinum.

3.3. Pengaruh Temperatur Roasting terhadap Penurunan Kadar Chromium

Kadar Cr mengalami penurunan yang signifikan setelah proses roasting oksidatif. Konsentrasi Cr turun dari 164.558 g/t pada sampel awal menjadi 57.260 g/t setelah roasting pada temperatur 800°C. Ketika temperatur ditingkatkan menjadi 1050°C, kadar Cr kembali menurun hingga mencapai 39.645 g/t. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan temperatur roasting berperan penting dalam meningkatkan efektivitas penghilangan kromium dari residu flotasi.

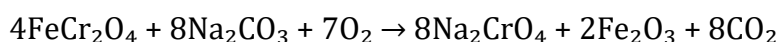
Penurunan kadar Cr terjadi karena kromium trivalen $[\text{Cr(III)}]$ yang terdapat dalam struktur mineral kromit mengalami oksidasi menjadi kromium heksavalen $[\text{Cr(VI)}]$ selama proses roasting. Kromium heksavalen kemudian bereaksi dengan Na_2CO_3 membentuk natrium kromat (Na_2CrO_4) yang memiliki kelarutan tinggi dalam air. Pada tahap water leaching, senyawa natrium kromat tersebut larut dan terpisahkan dari residu padatan sehingga kandungan kromium dalam residu berkurang secara signifikan. Data dapat dilihat di gambar 2 Grafik Kadar Pt dan Cr akibat Roasting Oksidatif menggunakan Na_2CO_3 .

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Antony, Pownceby, dan Fisher-White (2001) yang menyatakan bahwa penambahan natrium karbonat mampu meningkatkan pembentukan senyawa kromat selama roasting kromit. Temperatur yang lebih tinggi meningkatkan difusi oksigen ke dalam partikel mineral dan mempercepat kinetika reaksi oksidasi sehingga konversi Cr(III) menjadi Cr(VI) berlangsung lebih sempurna. Menurut Habashi (1997), pembentukan natrium kromat merupakan mekanisme utama dalam proses ekstraksi kromium melalui roasting alkali karena menghasilkan produk yang mudah dipisahkan melalui pelindian air.

Penurunan kadar Cr yang lebih besar pada temperatur 1050°C menunjukkan bahwa kondisi tersebut memberikan efisiensi oksidasi yang lebih tinggi dibandingkan temperatur 800°C. Oleh karena itu, peningkatan temperatur roasting menjadi faktor penting dalam memaksimalkan pembentukan senyawa kromat dan meningkatkan efektivitas pemisahan kromium dari residu flotasi.

3.3 Mekanisme Roasting Oksidatif Menggunakan Na₂CO₃

Secara teoritis, reaksi utama yang terjadi selama roasting oksidatif dapat dituliskan sebagai berikut:



Reaksi tersebut menunjukkan bahwa kromium dalam mineral kromit diubah menjadi natrium kromat yang larut air, sedangkan besi tetap berada dalam bentuk oksida yang relatif tidak larut. Kondisi ini memungkinkan kromium dipisahkan secara selektif melalui proses pelindian menggunakan air.

Peran Na₂CO₃ dalam proses ini tidak hanya sebagai sumber ion natrium untuk pembentukan natrium kromat, tetapi juga sebagai agen alkali yang membantu memecah struktur mineral kromit sehingga reaksi oksidasi berlangsung lebih efektif. Pada temperatur tinggi, difusi oksigen meningkat dan kontak antara reaktan menjadi lebih intensif, sehingga pembentukan Na₂CrO₄ berlangsung lebih sempurna.

Perlu ditekankan bahwa mekanisme oksidasi Cr(III) menjadi Cr(VI) dan pembentukan Na₂CrO₄ pada penelitian ini merupakan interpretasi yang didasarkan pada reaksi teoritis dan literatur terkait (Antony, Pownceby, dan Fisher-White, 2001; Habashi, 1997), bukan hasil pembuktian langsung melalui karakterisasi fase. Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini terbatas pada ICP-OES, yang hanya mengukur kandungan unsur total dan tidak dapat membedakan spesiasi Cr(III)/Cr(VI) maupun mengonfirmasi keberadaan fase Na₂CrO₄ secara langsung. Konfirmasi mekanisme tersebut memerlukan analisis tambahan seperti difraksi sinar-X (XRD) untuk identifikasi fase kristalin atau metode spesiasi Cr(VI) (misalnya metode kolorimetri difenilkarbazida), yang menjadi rekomendasi untuk penelitian lanjutan.

Mekanisme tersebut menjelaskan mengapa peningkatan temperatur roasting menghasilkan penurunan kadar Cr yang lebih besar (dalam g/t) dan peningkatan konsentrasi relatif Pt pada residu. Dengan berkurangnya kandungan kromium melalui pembentukan dan pelarutan natrium kromat, residu menjadi lebih kaya akan logam berharga sehingga lebih sesuai untuk tahap ekstraksi lanjutan, meskipun sebagaimana diuraikan pada sub-bab 3.1 dan 3.2, efisiensi ekstraksi Cr dan retensi massa Pt tidak selalu meningkat searah dengan kenaikan temperatur.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa roasting oksidatif menggunakan Na₂CO₃ merupakan metode yang efektif untuk menurunkan kadar kromium pada residu

flotasi yang mengandung PGM. Temperatur 800°C memberikan efisiensi ekstraksi Cr tertinggi ($\approx 95,6\%$) namun disertai kehilangan massa Pt yang lebih besar, sedangkan temperatur 1050°C memberikan retensi massa Pt yang lebih baik meskipun efisiensi ekstraksi Cr-nya lebih rendah ($\approx 59,2\%$). Temuan ini mendukung penggunaan roasting alkali sebagai tahap pra-perlakuan sebelum proses hidrometalurgi untuk meningkatkan efisiensi ekstraksi platinum, dengan pemilihan temperatur optimal yang perlu disesuaikan dengan prioritas antara penghilangan Cr dan retensi Pt.

4. Kesimpulan

Roasting oksidatif menggunakan Na_2CO_3 efektif digunakan untuk menurunkan kadar Cr pada residu flotasi yang mengandung platinum. Kadar Cr menurun dari $164.558,46 \text{ g/t}$ pada umpan awal menjadi $57.260,76 \text{ g/t}$ setelah roasting pada temperatur 800°C dan $78.050,17 \text{ g/t}$ pada temperatur 1050°C , dan lebih lanjut menjadi $9.515,00 \text{ g/t}$ (800°C) serta $39.645,75 \text{ g/t}$ (1050°C) setelah tahap water leaching. Berdasarkan neraca massa, efisiensi ekstraksi Cr yang dicapai adalah $\approx 95,6\%$ pada 800°C dan $\approx 59,2\%$ pada 1050°C . Neraca massa Pt menunjukkan bahwa peningkatan kadar Pt (g/t) pada residu merupakan efek pemekatan relatif, bukan peningkatan recovery absolut, dengan retensi massa Pt yang lebih baik pada temperatur 1050°C ($104,11 \text{ mg}$ tersisa dari $275,62 \text{ mg}$ umpan) dibandingkan 800°C ($7,41 \text{ mg}$ tersisa dari $275,58 \text{ mg}$ umpan). Dengan demikian, pemilihan temperatur roasting optimal bergantung pada prioritas proses: temperatur 800°C lebih unggul untuk memaksimalkan penghilangan Cr, sedangkan temperatur 1050°C lebih unggul untuk mempertahankan massa Pt pada residu. Proses roasting oksidatif yang diikuti water leaching berpotensi digunakan sebagai tahap pra-perlakuan untuk meningkatkan efisiensi ekstraksi platinum secara hidrometalurgi, dengan mekanisme oksidasi $\text{Cr(III)} \rightarrow \text{Cr(VI)}$ yang perlu dikonfirmasi lebih lanjut melalui karakterisasi fase seperti XRD pada penelitian selanjutnya.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Global Mineralium Corporindo atas kesempatan pelaksanaan penelitian serta fasilitas laboratorium yang diberikan. Terima kasih juga disampaikan kepada Program Studi Teknik Metalurgi UPN "Veteran" Yogyakarta dan seluruh pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

References

- Beverkog, B., & Puigdomenech, I. (1997). Revised Pourbaix diagrams for chromium at $25\text{--}300^\circ\text{C}$. *Corrosion Science*, 39(1), 43–57.
- Hossini, H., et al. (2022). A comprehensive review on human health effects of chromium. *Environmental Research*.
- Liu, W., et al. (2024). Selective extraction of chromium from chromium-bearing materials via pressure oxidation alkaline leaching. *Hydrometallurgy*.
- Richard, F. C., & Bourg, A. C. M. (1991). Aqueous geochemistry of chromium: A review. *Water Research*, 25(7), 807–816.

- Shahid, M., Dumat, C., Khalid, S., et al. (2017). Chromium speciation, bioavailability, uptake, toxicity and detoxification in soil-plant system: A review. *Science of The Total Environment*, 584–585, 473–494.
- Shin, D. Y., et al. (2023). Adverse human health effects of chromium by exposure routes: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3), 1–18.
- Wise, J. P., Jr., et al. (2022). Current understanding of hexavalent chromium [Cr(VI)]: Neurotoxicity and health risks. *Environmental Research*, 204, 112–118.
- Yang, Z., et al. (2021). Reductive materials for remediation of hexavalent chromium: A review. *Science of The Total Environment*, 774, 145–158.
- Zhang, B., & Zhang, J. (2016). Advances towards a clean hydrometallurgical process for chromium extraction. *Minerals*, 6(2), 1–16.
- Zhang, J., et al. (2022). Phase transformation effects on chromium extraction from chromite ore processing. *Minerals Engineering*.