

## DEGRADASI SIANIDA DALAM LIMBAH CAIR MENGUNAKAN OKSIDATOR NaOCl

Adriana Anteng Anggorowati<sup>1\*</sup>, Suratno Lourentius<sup>2</sup>

Prodi Profesi Insinyur - Fakultas Teknik – Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

Jalan Kalijudan 37 Surabaya (60114)

\*e-mail : [adrianaanteng@ukwms.ac.id](mailto:adrianaanteng@ukwms.ac.id)

### ABSTRAK

Sianida merupakan senyawa yang sangat bersifat toksik jika melebihi nilai ambang batas yang diijinkan oleh Pemerintah. Sianida dipergunakan pada proses sianidasi khususnya pada proses pengolahan bijih emas di bidang pertambangan. Sianidasi dilakukan oleh para penambang emas yang berskala kecil sebagai pengganti proses amalgamasi. Limbah cair dari proses sianidasi mengandung kadar sianida yang tinggi hingga 35 – 45 mg/L. Oleh sebab itu konsentrasi sianida yang masih tinggi ini perlu diturunkan supaya memenuhi syarat baku mutu sebelum dibuang ke lingkungan. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mendegradasi sianida dalam limbah adalah oksidasi. Oksidator yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah NaOCl. Proses oksidasi dalam degradasi sianida ini dilakukan dengan variasi konsentrasi oksidator (% v/v) mulai dari 0,4%, 0,8%, 1,2%, 1,6% dan 2% dan variasi waktu oksidasi 0,5 jam, 1 jam, 1,5 jam, dan 2 jam. Proses oksidasi menggunakan NaOCl berlangsung 2 tahap, yaitu pembentukan senyawa sianat kemudian hidrolisis sianat yang menghasilkan gas nitrogen dan bikarbonat yang tidak toksik. Setiap proses oksidasi, pH selalu dijaga 12, sebab jika keasaman larutan tinggi dikhawatirkan akan menghasilkan senyawa sianogen klorida yang bersifat toksik. Berdasarkan hasil penelitian, limbah cair proses sianidasi yang mengalami pengenceran 15 kali, sehingga memiliki konsentrasi sianida 2,8740 mg/L dapat turun konsentrasinya menjadi 0,1095 mg/L dengan menggunakan oksidator NaOCl sebesar 2% (v/v) selama waktu oksidasi 2 jam. Konsentrasi sianida ini hampir mendekati baku mutu yang diijinkan dalam Permenkes No. 32 Tahun 2017 yaitu 0,1 mg/L.

**Kata kunci:** degradasi sianida, natrium hipoklorit

### ABSTRACT

*Cyanide is a very toxic compound if it exceeds the threshold value permitted by the Government. Cyanide is used in the cyanidation process, especially in the processing of gold ore in the mining sector. Cyanidation is carried out by small-scale gold miners as a substitute for the amalgamation process. Liquid waste from the cyanidation process contains high levels of cyanide up to 35 – 45 mg/L. Therefore, the concentration of cyanide which is still high needs to be reduced so that it meets the quality standards before being discharged into the environment. One method that can be used to degrade cyanide in waste is oxidation. The oxidizing agent used in this study was sodium hypochlorite (NaOCl). The oxidation process in cyanide degradation was carried out with variations in the concentration of the oxidizer (% v/v) starting from 0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6% and 2% and variations in oxidation time of 0.5 hours, 1 hour, 1.5 hours, and 2 hours. The oxidation process using NaOCl takes place in 2 stages, namely the formation of cyanate compounds and then the hydrolysis of cyanate which produces non-toxic nitrogen gases and bicarbonate. In each oxidation process, the pH is always maintained at 12, because if the acidity of the solution is high, it is feared that it will produce cyanogen chloride compounds which are toxic. Based on the results of the study, the cyanidation process wastewater which was diluted 15 times, so that it had a cyanide concentration of 2.8740 mg/L could decrease its concentration to 0.1095 mg/L using 2% (v/v) NaOCl oxidizing agent for 2 hours. This cyanide concentration is almost close to the quality standard permitted in Permenkes No. 32 tahun 2017, which is 0.1 mg/L.*

**Key Words:** cyanide degradation, sodium hypochlorite.

### I. Pendahuluan

Limbah sianida telah menjadi masalah yang semakin umum karena berbagai aktivitas manusia, antara lain: pembuatan cat, bahan peledak, pestisida, penyulingan minyak, industri pertambangan, dan industri elektroplating menghasilkan limbah cair yang mengandung unsur sianida (Alvillo-Rivera; Garrido-Hoyos;

Buitr; Thangarasu-Sarasvathi; & Rosano-Ortega, 2021). Dalam industri electroplating, misal dalam proses pelapisan logam perak, larutan sianida karena menghasilkan proses pelapisan dengan kualitas deposisi yang baik, oleh sebab itu dalam proses ini menghasilkan limbah cair yang mengandung sianida. Jika larutan elektrolit yang dipergunakan non-sianida, menghasilkan

kualitas deposit perak yang rendah jika dibandingkan menggunakan luran sianida (Feng-Zhang; Yin; Wang; Volinsky; & Tian, 2013). Senyawa sianida dalam aliran air limbah cair harus diolah terlebih dahulu untuk mengurangi konsentrasi sianida total dan sianida bebas hingga mencapai di bawah nilai ambang batas yang ditentukan. Sianida dalam segala bentuknya seperti sianida bebas, garam sianida, atau kompleks logam-sianida berpotensi beracun bagi kehidupan akuatik dan manusia (Amaouche; Chergui; Halet; Yeddou; Chergui; Nadjemi; & Ould-Dris, 2018). Bentuk sianida hasil sintesis adalah gas hidrogen sianida (HCN) dan natrium atau kalium sianida padat (NaCN atau KCN) (Kuyucak & Akcil, 2013). Keberadaan sianida sangat tergantung dari pH. Pada tekanan normal (1 atm) dan suhu 20<sup>o</sup> C, HCN dan CN memiliki pH 9,3 sedangkan pada pH 11, kebanyakan sianida berada dalam bentuk CN<sup>-</sup>, dan pada pH 7, berbentuk HCN (Alvillo-Rivera; Garrido-Hoyos; Buitr; Thangarasu-Sarasvathi; & Rosano-Ortega, 2021). Garam dari asam hidrosianat seperti natrium sianida (NaCN), kalium sianida (KCN), dan kalsium sianida (Ca(CN)<sub>2</sub>) adalah sianida sederhana yang larut sempurna dalam larutan air menghasilkan kation alkali tanah bebas dan anion sianida misalkan  $\text{NaCN} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{CN}^-$  kemudian  $\text{CN}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCN} + \text{OH}^-$  (Kuyucak & Akcil, 2013). Oleh karena itu, sangat penting untuk menghilangkan atau mengurangi konsentrasi senyawa berbahaya sianida ini dalam air limbah di sumbernya sebelum dilepaskan ke lingkungan. Telah diusulkan dan/atau diterapkan berbagai proses atau metode untuk pengurangan konsentrasi sianida dari dalam bentuk limbah cair ataupun bentuk lumpur. Metoda tersebut antara lain: fisikokimia: oksidasi klorinasi dalam suasana basa (Kuyucak & Akcil, 2013), oksidasi menggunakan ozon (Cui; Wang; Yuan; Guo; Gu; & Jian, 2014), oksidasi menggunakan asam Caro's acid (Hewit; Simons; & Breuer, 2015; Teixeira; Arellano; Sarmiento; Yokoyama; & da FonsecaAraujo, 2013), oksidasi secara elektrokimia (Berenguer; Rosa-Toro; Quijada; & Morallón, 2017), adsorpsi (Arif; Sheeraz; Azizullah & Asif, 2019) dan degradasi secara biologi pada konsentrasi rendah (Singh, & Balomajumder, 2016). Pada tahun 2006, telah dilakukan juga oksidasi sianida menggunakan hidrogen peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) yang dapat mentransformasi sianida menjadi bentuk yang tidak berbahaya yaitu bentuk senyawa sianat (CNO<sup>-</sup>) atau menjadi (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) (Yazici; Deveci; Alp; Uslu; & Celep, 2006). Efisiensi dari berbagai proses ini bergantung pada jenis dan konsentrasi spesies sianida yang terdapat dalam sampel. Metode kombinasi dari osidator untuk medegradasi sianida juga telah dilakukan yaitu dengan menggabungkan hidrogen peroksida dan ion hipoklorit untuk menghasilkan pembentukan

oksigen singlet (<sup>1</sup>O<sub>2</sub>) yang sangat efektif untuk mengoksidasi sianida bebas (CN<sup>-</sup>) dalam air. Reaksi kombinasi ini cepat dan efisien untuk mendegradasi sianida. Reaksi berlangsung pada rentang pH 9 -11. Penurunan konsentrasi sianida dapat mencapai 99,8% selama 20 menit pada suhu 25<sup>o</sup> C secara batch, dengan menggunakan rasio molar ([H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] + [NaClO])/[CN<sup>-</sup>] = 2:1 (Teixeira; Arellano; Sarmiento; Yokoyama; & da FonsecaAraujo, 2013).

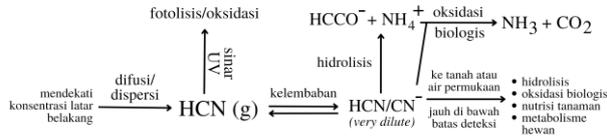
Limbah sianida banyak dihasilkan dari proses ekstraksi emas di bidang pertambangan. Sianida berfungsi sebagai reagen yang dapat mengapungkan bijih emas dalam proses pemisahan mineral dari campurannya. Sianida yang sering dipergunakan dalam bentuk natrium sianida karena dapat menjadi depresan pada proses pengapungan galena (timbal sulfida, PbS). Akibat penambahan senyawa sianida maka PbS tidak akan berada dalam buih mineral sehingga kemurnian emas dalam buih, konsentrat galena akan semakin tinggi. Berkurangnya kadar sianida dalam limbah ekstraksi emas, dapat terjadi karena: (1). secara alamiah, (2). Pengolahan secara kimia, fisika, atau biologi, (3). dilakukan daur ulang (Adams, 2005). Cara pengolahan limbah sianida secara kimia merupakan salah satu langkah yang sering dilakukan karena dari segi pengoperasianannya mudah. Dalam penelitian ini memilih metode oksidasi secara kimia menggunakan natrium hipoklorit, untuk menurunkan konsentrasi sianida dalam limbah. Tujuannya, agar memenuhi syarat baku mutu yang ditentukan Pemerintah. Mengacu pada Permenkes RI No. 32 Tahun 2017, Parameter Kimia dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi kadar maksimum kandungan sianida yang diperkenankan dalam air baku air minum adalah 0,1 mg/L (Permenkes RI No. 32 Tahun 2017).

## II. Tinjauan Pustaka

### 2.1. Sianida

Sianida merupakan bahan kimia industri yang sangat berguna dalam industri pertambangan untuk mengekstraksi emas dan logam lainnya seperti perak, tembaga dan seng dari bijihnya. Oleh sebab itu limbah dari pertambangan ini akan menghasilkan limbah yang mengandung sianida. Pengolahan kembali limbah dan tailing yang mengandung emas ini merupakan peluang bisnis sekaligus bermanfaat untuk meningkatkan kualitas lingkungan. Gambar-1 menunjukkan berbagai kemungkinan jalur (*pathway*) sianida untuk lepas ke lingkungan. Dalam bentuk asam sianida, HCN dapat berkurang kadarnya melalui hidrolisis, oksidasi secara biologi, oksidasidan dapat juga melalui efek fotolisis akibat paparan radiasi ultra violet. Sianidasi merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk mengekstraksi emas dari limbah pertambangan. Pengolahan

pengambilan kembali emas ini akan menyebabkan munculnya limbah cair yang mengandung sianida yang kemudian disebut sebagai *tailing effluent*.

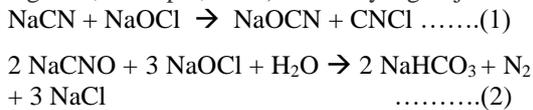


Gambar-1. Pelepasan sianida ke lingkungan (Smith & Mudder, 1991)

Limbah ini yang harus ditreatment supaya konsentrasinya tidak membahayakan lingkungan hingga melebihi baku mutu yang ditentukan (Kuyucak & Akcil, 2013).

2.2. Proses Degradasi Sianida

Oksidasi sianida oleh kalsium hipoklorit  $Ca(ClO)_2$  atau natrium hipoklorit  $NaClO$  merupakan salah satu metoda yang dipergunakan untuk mendegradasi sianida dalam limbah cair. Reaksi oksidasi ini terjadi dalam dua tahap yaitu: (1). tahap pembentukan zat antara sianat ( $OCN^-$ ) dan (2). proses hidrolisis sianat menghasilkan bikarbonat dan nitrogen. Pada reaksi ini, pH harus pada kondisi sangat basa, untuk menghindari terbentuknya sianogen klorida yang sangat beracun (Kamrani; Seifpanahi-Shabani; Seyed-Hakimi; Al; Agarwa; & Gupta, 2019). Reaksi yang terjadi:



Hasil penelitian oksidasi sianida dengan berbagai oksidator dapat dilihat seperti dalam Tabel-1.

Tabel-1. Parameter Utama Proses Pengolahan Limbah Cair (Kamrani; Seifpanahi-Shabani; Seyed-Hakimi; Al; Agarwa; & Gupta, 2019)

Oksidator	pH	Waktu Reaksi (menit)	Temp eratur	[Oksida tor] (g/L)
$H_2O_2$		0-300		0,04-4,78
Fenton		0-130		0,05-1,00
$H_2O_2/Cu(II)$	8 - 13	0-220	25 - 35	0,04-1,09
$Ca(ClO)_2$		0-25		0,08-0,90
$NaClO$		0-35		0,07-1,32

Berdasarkan Tabel-1, besarnya pH antara 8 – 13. Jika nilai pH kurang dari 8 sianida yang larut

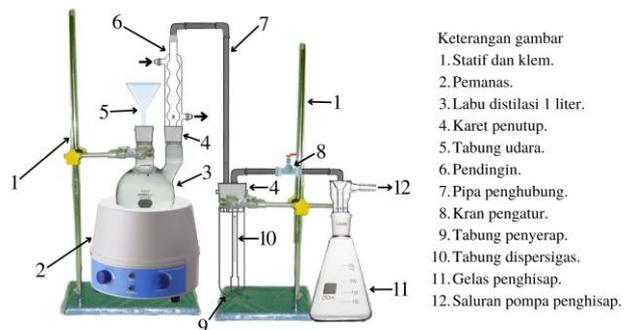
mudah menguap dan demikian juga jika nilai suhu lebih dari  $35\text{ }^\circ\text{C}$  (Adams, 2013). Setiap oksidator, mempunyai batas konsentrasi sianida yang berbeda juga. Berdasarkan penelitian lebih lanjut oleh ksidator  $NaClO$  dan  $Ca(ClO)_2$ , oleh Kamrani; Seifpanahi-Shabani; Seyed-Hakimi; Al; Agarwa; & Gupta (2019) degradasi sianida semakin meningkat apabila pH semakin diperbesar, hingga masing-masing pada pH 12 dan 11,5 mencapai degradasi sianida tertinggi. Jika ditinjau dari dosis/ konsentrasi sianida, Kamrani; Seifpanahi-Shabani; Seyed-Hakimi; Al; Agarwa; & Gupta (2019) juga melaporkan bahwa dengan menggunakan dosis natrium hipoklorit yang rendah sudah mampu mendegradasi sianida jika dibandingkan dengan dosis kalsium hipoklorit, hal ini disebabkan karena reaktivitas natrium lebih kuat dari pada kalsium.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu reaksi dan konsentrasi oksidator  $NaOCl$  yang ditambahkan ke dalam limbah cair yang mengandung sianida terhadap turunnya konsentrasi sianida mula-mula dalam limbah cair. Sedangkan volume sampel limbah cair dari proses sianidasi yang dioksidasi selalu konstan sebanyak 500 mL. Variabel lain yang dibuat selalu tetap yaitu keasaman selama proses oksidasi yaitu  $pH = 12$ . Hal ini mengacu pada beberapa literatur, bahwa pada kondisi yang sangat basa proses degradasi sianida menggunakan natrium hipoklorit adalah yang tertinggi.

3.1. Alat dan Bahan kimia yang dipergunakan

Alat yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah alat-alat gelas pada umumnya, Spektrofotometer UV/Vis dan 1 (satu) set Alat Reflux seperti tampak pada Gambar-2.



Gambar-2. Rangkaian Alat Reflux

Bahan kimia yang diperlukan adalah limbah cair dari proses sianidasi bijih emas yang telah diencerkan sehingga 15 kali lebih encer dari mula-mula yaitu sebesar 2,8740 mg/L dan berwarna kekuningan, oksidator natrium hipoklorit yang berkadar kemurnian 3,94 % dengan berat jenis 1,2021 gr/mL, padatan kalium sianida, pellet natrium hidroksida, asam

asetat, natrium asetat trihidrat, magnesium klorida, merkuri klorida, piridin, kloramin T, larutan asam barbiturat piridin, natrium tiosulfat, kalium iodide, kalium iodat, dan amilum.

3.2. *Prosedur penelitian*

Langkah kerja dalam penelitian ini terdiri dari 3 (tiga) yaitu: pembuatan kurva standar sianida, pengolahan sianida dalam limbah cair secara oksidasi menggunakan metoda reflux, dan pengukuran konsentrasi sianida setelah oksidasi.

3.2. a. *Kurva standar*

Pembuatan kurva standar sianida, dimulai dengan pembuatan larutan baku sianida. Dilarutkan 2,5109 gr potassium sianida dalam 40 mL larutan sodium hidroksida 1 N, kemudian larutan diencerkan menggunakan aquades hingga tepat menjadi 1 L. Sebanyak 10 mL dari larutan ini ditambah dengan 10 mL larutan NaOH 1 N dan selanjutnya diencerkan dengan aquades sampai 1 L. Berikutnya, diambil 100 mL larutan ini, kemudian ditambahkan 10 mL larutan NaOH 1 N dan diencerkannya dengan aquades sampai menjadi 1 L. Dari larutan yang sudah encer ini, dipipet masing-masing 1 mL, 2 mL, 3 mL, 5 mL, dan 10 mL, kemudian ditambahkan larutan NaOH 0,04 N sedemikian rupa sehingga masing-masing larutan bervolume 40 mL. Ke dalam larutan yang bervolume 40 mL ini, masing-masing ditambahkan 1 mL larutan kloramin T dan 1 mL larutan penyangga asetat, 5 mL larutan asam barbiturat piridin, selanjutnya diencerkan dengan aquades sampai tepat bervolume 50 mL. Deretan larutan baku ini masing-masing berkonsentrasi 0,0502 mg/L, 0,1004 mg/L, 0,1506 mg/L, 0,2511 mg/L dan 0,5022 mg/L. Larutan baku ini selanjutnya diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV/Vis pada panjang gelombang maksimum.

3.2. b. *Pengolahan sianida dalam limbah cair secara oksidasi* (APHA, 2012)

Disiapkan 500 mL sampel limbah cair dari proses sianidasi yang mengandung sianida, kemudian ditambah dengan larutan NaOH 1 N sambil diaduk hingga mencapai pH 12. Setelah itu ditambahkan NaOCl sedemikian rupa sehingga persentase NaOCl dalam larutan sebesar 0,4% selanjutnya dibiarkan bereaksi pada suhu ruangan selama ½ jam. Perlakuan ini diulangi dengan melakukan variasi penambahan NaOCl supaya diperoleh persentase NaOCl dalam larutan sebesar 0,8%; 1,2%; 1,6% dan 2%. Semua larutan ini masing-masing didiamkan agar bereaksi selama 0,5 jam. Setelah bereaksi selama 0,5 jam, semua larutan langsung dimasukkan ke dalam labu bulat, untuk direflux sehingga diperoleh larutan sianida yang ditampung dalam tabung dispersi gas. Langkah

ini diulangi untuk variasi waktu reaksi selama 1 jam, 1,5 jam, 2 jam dan 2,5 jam. Setelah masing-masing larutan berada dalam labu destilasi (labu bundar) untuk direflux, dimasukan 10 mL NaOH 1 N ke dalam tabung penyerap serta ditambahkan aquades hingga volume total 100 mL. Jika alat reflux sudah siap, maka pompa penghisap mulai dijalankan. Ke dalam labu bulat, melalui corong ditambahkan 20 mL MgCl<sub>2</sub> 5 N dan 5 mL HgCl<sub>2</sub> 0,5 N dan 50 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1:1), kemudian labu bulat dipanaskan selama 1 jam pada suhu 35 ° C. Setelah pemanasan selesai, selanjutnya larutan sianida sisa oksidasi yang berada di tabung penyerap gas dianalisis konsentrasinya menggunakan spektrofotometer UV/Vis.

3.2. c. *Pengukuran konsentrasi larutan sianida setelah oksidasi* (BSN, 2011)

Masing-masing sisa larutan sianida setelah oksidasi dengan NaOCl, diukur konsentrasinya menggunakan spektrofotometer dengan cara diambil 25 mL sianida sisa oksidasi ditambah 1 mL kloramin T, 1 mL penyangga asetat, dan 5 mL asam barbiturat piridin kemudian diencerkan hingga 50 mL dan diukur absorbansinya apada Panjang gelombang maksimum 582 nm. Berdasarkan besarnya absorbansi yang terukur, akan diketahui besarnya konsentrasi sianida.

IV. Hasil Penelitian dan Pembahasan

4.1. *Kurva standar larutan sianida*

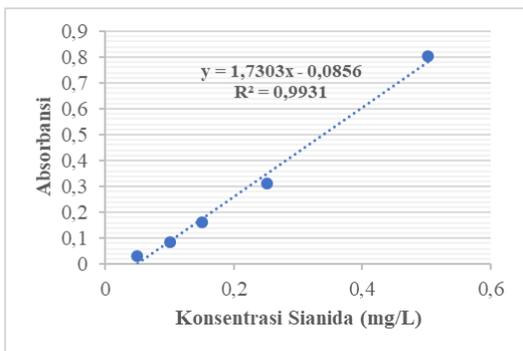
Sebelum mengukur absorbansi larutan standar sianida, dilakukan penentuan panjang gelombang maksimum dan diperoleh sebesar 578 nm. Selanjutnya setiap larutan standar sianida diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum. Hasil penentuan absorbansi dari berbagai larutan standar ditunjukkan dalam Tabel-2.

Tabel-2. Pengukuran absorbansi larutan standar sianida

Konsentrasi Sianida (mg/L)	Absorbansi
0,0502	0,032
0,1004	0,087
0,1507	0,162
0,2511	0,314
0,5022	0,802

Berdasarkan hasil pengukuran ini, dibuat kurva standar antara absorbansi versus konsentrasi sianida standar diperoleh kurva seperti pada Gambar-3. Dalam kurva standar Gambar-3, diperoleh persamaan regresi linier y = 1,7303 x – 0,0856. Dimana y menunjukkan besarnya absorbansi dan x adalah besarnya konsentrasi sianida (mg/L). Besarnya R<sup>2</sup> dalam persamaan regresi linier = 0,9931 mendekati 1 (satu), menandakan bahwa variabel konsentrasi

sianida (x) terhadap absorbansi larutan sianida (y) sangat kuat.



Gambar-3. Kurva standar larutan sianida

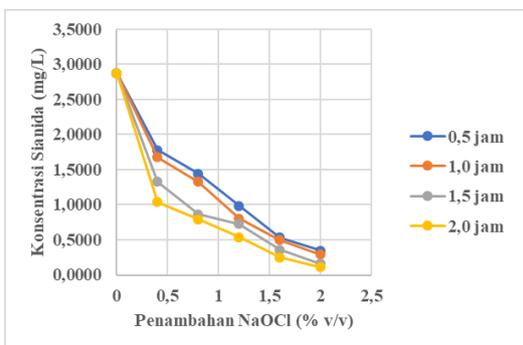
4.2. Pengukuran konsentrasi larutan sianida setelah oksidasi

Berdasarkan regresi linier, dan nilai absorbansi larutan sianida setelah oksidasi, maka konsentrasi sianida tersisa yang tidak teroksidasi oleh NaOCl dapat diketahui. Hasil perhitungan seperti ditunjukkan dalam Tabel-3.

Tabel-3. Konsentrasi sianida dalam sampel setelah dioksidasi, pada berbagai persentase oksidator NaOCl di setiap variasi waktu

Penambahan oksidator NaOCl (% v/v)	Konsentrasi sianida dalam sampel setelah dioksidasi (mg/L)			
	0,5 jam	1,0 jam	1,5 jam	2,0 jam
0	2,8740	2,8740	2,8740	2,8740
0,4	1,7790	1,6750	1,3250	1,0360
0,8	1,4410	1,3310	0,8655	0,7905
1,2	0,9870	0,8050	0,7240	0,5405
1,6	0,5305	0,4990	0,3570	0,2505
2	0,3440	0,2920	0,1375	0,1095

Hasil perhitungan dalam Tabel-3 ini jika ditampilkan dalam grafik, seperti Gambar-4.



Gambar-4. Grafik konsentrasi larutan sianida dalam sampel setelah dioksidasi pada berbagai persentase oksidator NaOCl setiap variasi waktu

Proses oksidasi sianida dalam sampel limbah cair proses sianidasi dilakukan secara *batch*. Limbah cair ini mengandung sianida (CN<sup>-</sup>)

sangat tinggi maka perlu diencerkan sehingga mencapai konsentrasi sianida sebesar 2,8740 mg/L yang sudah 15 (lima belas) kali lebih encer dari mula-mula. Selama proses pengenceran ini dilakukan sangat hati-hati di almari asam karena sampel sangat toksik. Selanjutnya sampel yang sudah encer ini dioksidasi menggunakan oksidator NaOCl. Dalam penelitian ini pH selalu dijaga agar konstan sebesar 12 karena jika pH turun dikhawatirkan terbentuk hasil samping sianogen klorida (CNCl) (Mondal; Saha; Sarkar; & Nair, 2021; Sinbuathong; Kongseri; Plungklang; & Khun-anake, 2000). Masing-masing larutan dengan variasi konsentrasi NaOCl dioksidasi selama 0,5 jam, 1 jam, 1,5 jam, 2 jam, dan 2,5 jam, kemudian sisa sianida yang tidak teroksidasi diukur konsentrasinya untuk mengetahui pada penggunaan oksidator berapa persen dan dalam waktu berapa lama konsentrasi sianida dalam limbah dapat turun hingga mencapai konsentrasi terendah hingga mencapai konsentrasi Nilai Ambang Batas yang sesuai dengan Permenkes. Mengacu pada Tabel-3 dan grafik dalam Gambar-4, pada pH yang sangat basa yaitu 12 pada temperatur ruangan yang berkisar antara 25<sup>o</sup> C – 30<sup>o</sup> C. oksidator NaOCl mampu mengoksidasi sianida sesuai persamaan reaksi (1) dan (2). Mekanisme yang terjadi dalam proses oksidasi ini, mula-mula sianida akan berubah menjadi senyawa antara sianat (OCN<sup>-</sup>) kemudian zat antara ini akan mengalami hidrolisis bereaksi dengan H<sub>2</sub>O menghasilkan gas nitrogen dan bikarbonat yang tidak bersifat toksik. Namun dari hasil penelitian ini menyisakan sianida terendah yang tidak teroksidasi sebesar 0,1095 mg/L pada penggunaan oksidator NaOCl dengan kadar 2% (v/v) selama waktu oksidasi 2 jam. Konsentrasi terendah ini mendekati baku mutu yang diijinkan dalam Permenkes No. 32 Tahun 2017 kadar maksimum kandungan sianida yang diperkenankan dalam air baku air minum adalah 0,1 mg/L.

V. Kesimpulan

Konsentrasi sianida (CN<sup>-</sup>) dalam limbah cair sianidasi dapat diturunkan secara oksidasi menggunakan oksidator NaOCl. Kadar sianida terendah dapat dicapai dengan menggunakan konsentrasi oksidator 2% selama 2 jam untuk jumlah limbah sebanyak 500 mL dengan konsentrasi sianida mula-mula dalam limbah 2,8740 mg/L. Zat antara sianogen klorida dapat dicegah pada kondisi operasi pH = 12.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Kimia, Program Studi Profesi Insinyur Fakultas Teknik Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya yang telah mendanai penelitian ini dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas

Katolik Widya Mandala Surabaya yang telah mendukung penelitian ini hingga tuntas.

#### Daftar Pustaka

- Adams, M. . (2005). *Advances In Gold Ore Processing* (1st ed.). Amsterdam, Holland: Elsevier Inc.
- Adams, M. . (2013). Impact of Recycling Cyanide and Its Reaction Products on Upstream Unit Operations. *Minerals Engineering*, (53), 241.
- Alvillo-Rivera, A; Garrido-Hoyos, S; Buitr, G; Thangarasu-Sarasvathi, P; & Rosano-Ortega, G. (2021). Biological Treatment for the Degradation of Cyanide: A review. *Journal of Materials Research and Technology*, (12), 1418–1433. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.03.030>
- Amaouche, H; Chergui, S; Halet, F; Yeddou A.R; Chergui, A; Nadjemi, B; & Ould-Dris, A. (2018). Removal of Cyanide in Aqueous Solution by Oxidation with Hydrogen Peroxide Catalyzed by Copper Oxide. *Water Science & Technology*, 80(1), 126–133. <https://doi.org/https://doi.org/10.2166/wst.2019.254>
- Arif, H.J; Sheeraz, A.M; Azizullah, C; & Asif, H. . (2019). Efficient Removal of Cyanide from Industrial Effluent Using Acid Treated Modified Surface Activated Carbon. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 41(22), 2715–2724. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1568643>
- Berenguer, R; Rosa-Toro, A.L; Quijada, C; & Morallón, E. (2017). Electrocatalytic Oxidation of Cyanide on Copper-doped Cobalt Oxide Electrodes. *Applied Catalysis B: Environmental*, 207, 286–296. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.01.078>
- BSN. (2011). Cara Uji Sianida (CN-) Secara Spektrofotometri. Retrieved from Sni 6989.77-2011 Cara Uji Sianida (cn-) Secara Spektrofotometri [q6ngozwv804v] (idoc.pub)
- Cui, J; Wang, X; Yuan, Y; Guo, X; Gu, X; & Jian, L. (2014). Combined Ozone Oxidation and Biological Aerated Filter Processes for Treatment of Cyanide Containing Electroplating Wastewater. *Chemical Engineering Journal*, (241), 184–189. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.09.003>
- Hewit, D.M; Simons, A.M; & Breuer, P. . (2015). A Fundamental Investigation of the Caro's Acid Cyanide Destruction Process. *The Canadian Journal of Metallurgy and Materials Science*, 54(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.1179/1879139515Y.0000000014>
- Kamrani, M.S; Seifpanahi-Shabani, K; Seyed-Hakimi, A; Al, G.A.M; Agarwa, S; & Gupta, K. . (2019). Degradation of Cyanide from Gold Processing Effluent by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, NaClO and Ca(ClO)<sub>2</sub> Combined with Sequential Catalytic Process. *Bulgarian Chemical Communications*, 51(3), 384–393. <https://doi.org/https://doi.org/10.34049/bcc.51.3.5052>
- Kuyucak, N; & Akcil, A. (2013). Minerals Engineering, Cyanide and Removal Options from Effluents in Golg mining and Metallurgical Processes, 50(51), 13–29. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mineng.2013.05.02>
- Mondal, A; Saha, P; Sarkar, S; & Nair, U. . (2021). Mitigation of Cyanide From Coke Plant Wastewater Using Chemical Oxidation Process. *Research Square*, (October), 1–21. <https://doi.org/https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-727204/v1>
- Permenkes RI No. 32 2017. Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum (2017). Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Feng-Zhang, Ren; Yin, Li-Tao; Wang, Shan-Shan; Volinsky, A; & Tian, B.-H. (2013). Cyanide-Free Silver Electroplating Process in Thiosulfate Bath and Microstructure Analysis of Ag Coatings. *Transactions of Nonferrous Metal Society of China*, 23(13), 3822–3828. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(13\)62935-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1003-6326(13)62935-0)
- Sinbuathong, N; Kongseri, B; Plungklang, P; & Khun-anake, R. (2000). Cyanide Removal from Laboratory Wastewater Using Sodium Hypochlorite and Calcium Hypochlorite. *Natural Science*, 34, 74–78.
- Singh, N; & Balomajumder, C. (2016). Batch Growth Kinetic Studies for Elimination of Phenol and Cyanide Using Mixed Microbial Culture. *Journal of Water Process Engineering*, 11, 130–137. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2016.04.006>
- Smith, A; & Mudder, T. (1991). *The Chemistry and Treatment of Cyanidation Waste*. London: Mining Journal Books Ltd.
- Teixeira, L.A.C; Arellano, M.T.C; Sarmiento, C.M; Yokoyama, L; & da Fonseca Araujo, F. . (2013). Oxidation of Cyanide in Water by Singlet Oxygen Generated by

the Reaction between Hydrogen Peroxide and Hypochlorite. *Minerals Engineering*, 50(51), 57–63.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mineng.2013.06.007>

Yazici, E.Y; Deveci, H; Alp, I; Uslu, T; & Celep, O. (2006). Factors Affecting Decomposition of Cyanide by Hydrogen Peroxide. In *Proceedings of the 23 rd International Mineral Processing Congress*. Istanbul, Turkey.