

PENGOLAHAN SKALA PILOT LIMBAH CADMIUM DAN SIANIDA INDUSTRI ELEKTROPLATING DENGAN FOTOKATALISIS UV/TIO₂

Tedi Hudaya*, Shirleen Rosemarie, dan Regina Leoni

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan
Jalan Ciumbuleuit 94, Bandung 40141

Telp/Fax: (022) – 2032 700; email: t_hudaya@yahoo.com.au, t.hudaya@unpar.ac.id

Abstract

Cadmium electroplating wastewater contains highly toxic cadmium (Cd²⁺) and cyanide (CN⁻) ions. As the alternative to the conventional (chemical reduction-oxidation) method, UV/TiO₂ photocatalysis may be considered to treat effectively. Photocatalysis is initiated by illuminating the catalyst surface with UV irradiation, which results in electrons and holes generation. Cd²⁺ will react with electrons and be reduced to form Cd. At the same time CN⁻ will react with hole and be oxidized to form nitrate ion, so that the wastewater will be safe to discharge. This research investigated the best condition in a pilot scale photoreactor (50 L). Synthetic wastewaters containing 50 ppm Cd²⁺ and 100 ppm CN⁻ were treated in a bubble column photoreactor, equipped with 5 Heraeus G64T5L UV lamp (75 Watt each). In addition, the required times to treat the maximum load (200 ppm Cd²⁺ and 200 ppm CN⁻) and minimum load (11.5 ppm Cd²⁺ and <0.01 ppm CN⁻), based on the survey conducted to PT NTP – Bandung, were also examined. Preliminary experiments showed that 5 L/min was the optimum aeration rate. Among the variations of light intensity and catalyst concentration under study, the UV intensity of 7.5 Watt/L and catalyst dosage at 2 gram/L were found as the best conditions. To treat the maximum load, around 10 hours of illumination time was needed, while the minimum load took only 3 hours.

Keywords: cadmium, cyanide, electroplating, pilot scale, UV/TiO₂ photocatalysis

Abstrak

Limbah elektroplating cadmium mengandung ion-ion cadmium (Cd²⁺) dan sianida (CN⁻) yang sangat berbahaya. Sebagai alternatif metode konvensional (reduksi-oksidasi dengan zat kimia secara bertahap) yang biasa dilakukan, fotokatalisis UV/TiO₂ dapat dipergunakan sebagai metode yang efektif. Fotokatalisis UV/TiO₂ secara batch sangat sederhana pengoperasiannya dan selain itu dapat melangsungkan reaksi reduksi-oksidasi secara simultan. Proses fotokatalisis diawali dengan penyinaran sinar UV pada permukaan fotokatalis yang mengakibatkan elektron tereksitasi dan menghasilkan hole. Cd²⁺ akan bereaksi dengan elektron dan tereduksi menjadi Cd (endapan yang mudah dipisahkan dari air limbah), sedangkan di saat bersamaan CN⁻ akan bereaksi dengan hole dan teroksidasi menjadi ion nitrat, sehingga limbah lebih aman untuk dibuang. Penelitian ini bertujuan untuk mencari kondisi optimum pengolahan limbah dalam fotoreaktor skala pilot (50 L). Limbah sintesis dengan kandungan 50 ppm Cd²⁺ dan 100 ppm CN⁻ diolah dalam bubble column photoreactor yang dilengkapi 5 buah lampu UV Heraeus G64T5L yang masing-masing berdaya 75 Watt. Selain itu, waktu reaksi untuk mengolah beban maksimum (200 ppm Cd²⁺ dan 200 ppm CN⁻) dan minimum (11,5 ppm Cd²⁺ dan <0,01 ppm CN⁻), berdasarkan dari data pabrik PT NTP – Bandung, juga ditentukan. Percobaan pendahuluan menunjukkan 5 L/menit adalah laju aerasi optimum. Di antara variasi intensitas lampu dan konsentrasi katalis yang digunakan, ditemukan bahwa intensitas 7,5 Watt/L dan konsentrasi 2 gram/L adalah kondisi terbaik untuk mengolah limbah. Untuk mengolah beban maksimum dibutuhkan waktu sekitar 10 jam, sedangkan beban minimum membutuhkan waktu 3 jam.

Kata kunci : cadmium, elektroplating, fotokatalisis UV/TiO₂, sianida, skala pilot

PENDAHULUAN

Sebagian besar industri elektroplating di Indonesia merupakan industri kecil-menengah (PUNDI, 2003). Meskipun demikian, industri elektroplating memegang peranan yang cukup penting bagi perekonomian Indonesia. Elektroplating merupakan proses pelapisan logam dengan logam lain dengan menggunakan arus listrik. Tujuan pelapisan adalah agar logam menjadi tahan gores, tahan karat, dan indah penampilannya (mengkilap).

Cadmium (Cd) merupakan salah satu logam pelapis yang digunakan dalam industri elektroplating yang bertujuan untuk meningkatkan kekerasan mekanik (ketahanan terhadap abrasi) dan ketahanan terhadap karat, misalnya untuk baling-baling atau turbin pesawat. Pelapisan cadmium dilakukan dalam tangki berisi larutan cadmium dan sianida. Dari proses elektroplating ini dihasilkan limbah larutan encer cadmium (Cd^{2+}) dan sianida (CN^-) yang sangat berbahaya, sebagai hasil proses pembilasan.

Biasanya, limbah cair elektroplating yang mengandung ion logam berat dan sianida diolah melalui dua tahap yaitu reduksi ion logam berat dan oksidasi sianida. Namun pengolahan limbah secara konvensional cenderung lebih rumit dalam pengoperasiannya, karena dibutuhkan tahap yang lebih panjang dan pengetahuan kimia (seperti stoikiometri). Oleh sebab itu, diperlukan suatu teknologi tepat guna yang dapat digunakan untuk industri skala kecil-menengah untuk mengolah limbah cair logam berat sebelum dibuang ke perairan. Dalam penelitian ini diusulkan sebuah teknologi yang lebih sederhana pengoperasiannya dan dapat melangsungkan proses reduksi dan oksidasi secara simultan, yaitu fotokatalisis UV/TiO₂

Fotokatalisis merupakan suatu proses reaksi berkatalis heterogen dengan bantuan cahaya UV. Proses fotokatalisis diawali dengan penyinaran foton, dengan energi yang sama atau lebih besar dari *band gap energy* (E_{bg}), pada permukaan fotokatalis yang mengakibatkan eksitasi elektron. *Band gap energy* merupakan perbedaan antara pita valensi (terisi penuh elektron) dengan pita konduksi (kosong) di sebuah semikonduktor. Eksitasi yang terjadi mengakibatkan munculnya elektron bebas di *energy conduction band* (E_{cb}) dan lubang positif (*holes*) di *lower energy valence band* (E_{vb}). Semikonduktor memiliki *band gap* sehingga pada saat terjadi eksitasi terdapat waktu jeda (dalam ukuran *nano second*) yang memungkinkan *hole* dan elektron yang dihasilkan melakukan perpindahan muatan (redoks) dengan senyawa yang teradsorpsi di permukaan semikonduktor.

Penelitian yang akan dilakukan merupakan penelitian tahun ketiga, yang merupakan kelanjutan dari penelitian tahun 2010 dan 2011. Hasil yang diperoleh dari percobaan sebelumnya menunjukkan bahwa limbah elektroplating cadmium dan sianida dapat diolah efektif oleh fotokatalisis UV/TiO₂ (Kristianto % Wicaksono, 2010). Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan uji coba pengolahan di dalam fotoreaktor skala pilot (50 L) menggunakan limbah sintesis.

Bersamaan dengan penelitian ini dilakukan uji coba pemekatan limbah pabrik dengan membran RO (*Reverse Osmosis*). Pemekatan dilakukan untuk meningkatkan kapasitas reaktor sehingga pengolahan akan menjadi lebih efisien. Pemekatan telah berhasil dilakukan hingga didapat konsentrasi sebesar 200 ppm Cd^{2+} dan 200 ppm CN^- sebagai beban maksimum, dan 11,5 ppm Cd^{2+} dan <0,01 ppm CN^- sebagai beban minimum (Wijaya, 2013). Selain itu, bersamaan dengan penelitian ini juga dilakukan perhitungan

make up katalis yang dibutuhkan pada skala pilot. Hasil yang diperoleh adalah sebesar 4,5% (Naldo & Arief, 2013).

METODOLOGI

Limbah cair yang digunakan adalah limbah sintetik yang akan dibuat di laboratorium berdasarkan sampel dari industri electroplating yaitu PT Nusantara Turbin dan Propulsi (NTP), Jl. Pajajaran 154, Bandung. Limbah sianida diperoleh dari *effluent* tangki *electrocleaning* dan electroplating cadmium.

Semikonduktor yang digunakan adalah titanium dioksida (TiO_2) karena sifatnya yang lebih aktif, stabil, tidak beracun, dan tersedia secara komersial. Sumber radiasi yang umum dipakai untuk fotokatalisis menggunakan TiO_2 adalah UV. Pada penelitian ini akan digunakan *Low Pressure UV Lamp*, karena dapat menghasilkan sinar monokromatik pada 254 nm, di mana terjadi absorpsi foton maksimum TiO_2 . Selain itu, *Low Pressure UV Lamp* juga memiliki efisiensi listrik-foton yang tinggi.

Reaktor yang digunakan adalah *bubble column photocatalytic reactor*. Pada reaktor ini, pengadukan yang biasanya secara mekanik (dengan *impeller*), digantikan dengan aerasi. Di satu sisi, aerasi yang baik memastikan kontak yang baik antara katalis dengan fluida, di sisi lain juga dapat meningkatkan kandungan oksigen terlarut.

Ada dua tahap percobaan yang akan dilakukan, yaitu percobaan pendahuluan dan percobaan utama. Percobaan pendahuluan yang akan dilakukan adalah optimasi laju aerasi untuk reaktor skala pilot. Percobaan utama yang dilakukan terdiri dari optimasi intensitas lampu dan konsentrasi katalis untuk mendapatkan konfigurasi optimum. Hal ini dilakukan karena adanya perubahan volume dan konsentrasi limbah yang akan diolah. Bila jumlah katalis banyak namun tidak diimbangi dengan banyaknya foton yang tersedia, maka tidak semua katalis akan bekerja optimal. Begitu juga sebaliknya, bila jumlah foton banyak namun tidak diimbangi dengan jumlah katalis, maka akan terjadi pemborosan energi. Kondisi yang akan digunakan dalam percobaan utama adalah pH 13 (Kristianto & Wicaksono, 2010).

Dalam optimasi kondisi pengolahan limbah dan uji konsistensi digunakan konsentrasi sianida 100 mg/L dan cadmium 50 mg/L. Pada akhir penelitian, juga dilakukan penentuan waktu operasi untuk pengolahan limbah pada beban maksimum dan beban minimum untuk mengakomodasikan variasi konsentrasi limbah pabrik. Konsentrasi yang digunakan adalah 200 ppm Cd^{2+} dan 200 ppm CN^- sebagai beban maksimum, dan 11,5 ppm Cd^{2+} dan <0,01 ppm CN^- sebagai beban minimum (Wijaya, 2013).

Start Up

Selongsong lampu UV dipastikan dalam keadaan bersih agar penyinaran dapat berlangsung maksimal dan bagian lampu yang menonjol pada bagian atas reaktor ditutup dengan aluminium foil. Tekanan udara yang akan memasuki reaktor diatur pada ± 1.5 bar gauge. Kemudian kerangan bukaan kompresor dibuka dan laju alir udara dengan menggunakan rotameter, sedangkan kerangan yang berada pada bagian bawah reaktor ditutup.

Pengolahan

Limbah industri elektroplating cadmium ditambah larutan NaOH hingga pH limbah menjadi 13 dan dimasukkan di dalam tangki umpan. Limbah dalam tangki umpan diaduk hingga 10 menit, lalu umpan dipompakan ke dalam reaktor. Katalis ditambahkan melalui bagian atas reaktor setelah reaktor terisi sebagian (± 15 menit setelah pemompaan dilakukan). Ketika terjadi sedikit *overflow*, pompa dimatikan. Limbah dibiarkan berada di dalam reaktor selama 30 menit sebelum lampu UV dinyalakan. Sampel diambil sesaat sebelum lampu UV dinyalakan ($t=0$).

Shut down

Setelah pengolahan selesai dilakukan, lampu UV dimatikan, kerangan udara dan kompresor ditutup, kerangan bagian bawah reaktor dibuka, dan limbah ditampung di tangki sedimentasi. Katalis dapat digunakan hingga 5 kali pemakaian dengan penambahan *make up* katalis sebesar 4.5%. Setelah dipakai 5 kali, katalis diganti dengan katalis baru. Jika diperlukan, selongsong UV dibersihkan menggunakan larutan asam encer dan/atau alkohol.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan Pendahuluan

Percobaan pendahuluan bertujuan untuk mengoptimasi laju aerasi yang akan digunakan pada percobaan utama.

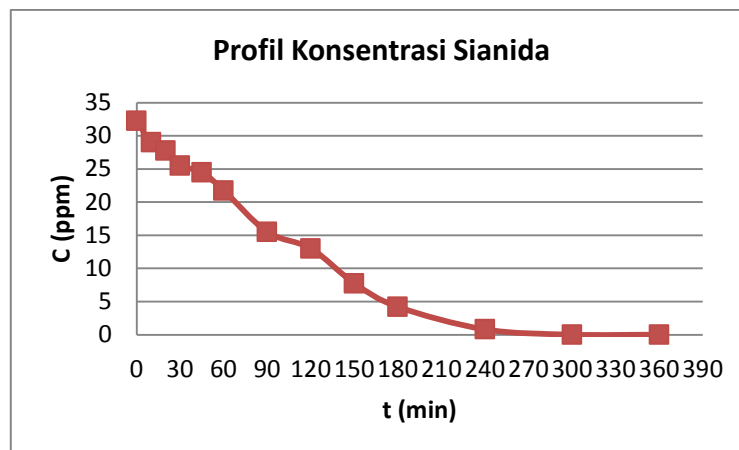
Penentuan Konsentrasi Limbah

Dalam optimasi kondisi pengolahan limbah dan uji konsistensi digunakan konsentrasi sianida 100 mg/L dan cadmium 50 mg/L. Sedangkan untuk mengakomodasi variasi konsentrasi limbah digunakan konsentrasi maksimum dan minimum hasil pemekatan. Konsentrasi maksimum yang digunakan baik untuk sianida maupun cadmium adalah sebesar 200 mg/L, sedangkan konsentrasi minimum yang digunakan untuk cadmium 11,5 mg/L dan sianida $<0,01$ mg/L (Wijaya, 2013).

Penentuan Waktu Operasi

Berdasarkan hasil penelitian tahun pertama, diketahui bahwa laju reaksi oksidasi sianida lebih lambat dibanding laju reaksi reduksi cadmium. Oleh sebab itu, penentuan waktu operasi dilakukan menggunakan profil konsentrasi sianida. Pada percobaan pendahuluan ini, larutan umpan dibuat dengan konsentrasi sianida 100 mg/L. Percobaan ini dilakukan dengan menggunakan 2 g/L katalis, 4 buah lampu, dan laju aerasi sebesar 4 L/min. Profil penurunan konsentrasi sianida terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 4.1.

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa reaksi berlangsung cepat sampai menit ke-240, dan melambat dari menit ke-240 sampai 360. Hal ini menunjukkan konsentrasi sianida di dalam sistem mempengaruhi kinetika oksidasi sianida yang terjadi. Pada konsentrasi yang besar, laju reaksi akan cepat, sedangkan pada konsentrasi yang kecil akan melambat.



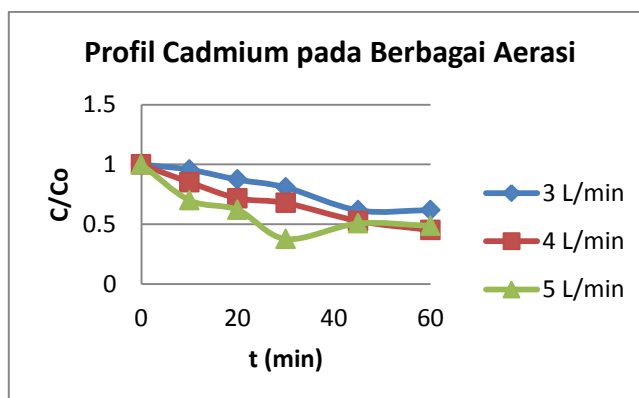
Gambar 1 Profil Penurunan Konsentrasi Sianida terhadap Waktu

Berdasarkan hasil tempuhan ini, ditentukan tempuhan selanjutnya menggunakan waktu operasi tetap 4 jam. Selama pelaksanaan tempuhan, pengambilan sampel hanya dilakukan sampai menit ke-60 karena keterbatasan biaya. Namun limbah tetap direaksikan di dalam reaktor selama 4 jam agar konsentrasi buangan limbah tidak terlalu tinggi dan layak untuk dibuang ke lingkungan.

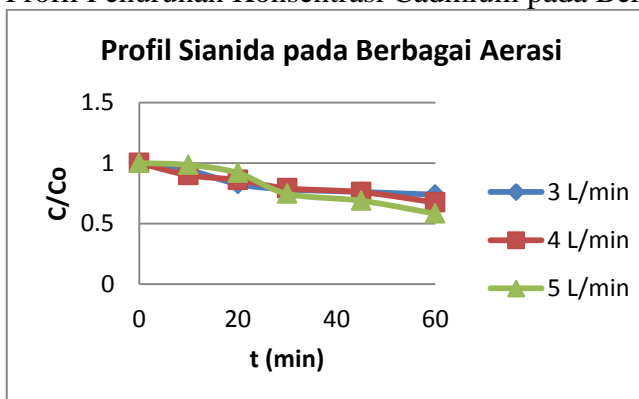
Penentuan Laju Aerasi Optimum

Laju aerasi memiliki pengaruh yang cukup besar dalam proses fotokatalisis. Laju aerasi menentukan homogenitas katalis TiO_2 dan kadar oksigen yang terlarut di dalam larutan. Selain itu, perpindahan massa pada lapisan film dipengaruhi oleh turbulensi larutan sehingga laju aerasi juga mempengaruhi perpindahan massa dari fasa curah ke permukaan fotokatalis. Semakin turbulen larutan di dalam reaktor, tahanan perpindahan massa akan semakin kecil, sehingga akan mempercepat perpindahan massa dari fasa curah ke permukaan katalis. Berdasarkan penelitian pada tahun pertama, diketahui bahwa terdapat *critical flow rate*, di mana penambahan laju aerasi tidak berpengaruh lagi terhadap perpindahan massa di dalam reaktor. Oleh karena itu, penentuan laju aerasi optimum dilakukan.

Pengaruh laju aerasi terhadap profil penurunan konsentrasi cadmium dan sianida dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3. Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa laju aerasi berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi cadmium. Cadmium yang bermuatan positif menempel pada TiO_2 yang bermuatan negatif, yaitu pada pH basa (pH 13) yang lebih besar dari pH isoelektrik (sekitar pH 7), sehingga reduksi terjadi di permukaan TiO_2 . Semakin besar laju aerasi, semakin cepat perpindahan massa untuk reaksi reduksi cadmium. Perpindahan massa akan mempengaruhi laju reduksi cadmium secara keseluruhan. Semakin cepat perpindahan massa cadmium, maka penurunan konsentrasi cadmium menjadi semakin cepat pula.



Gambar 2 Profil Penurunan Konsentrasi Cadmium pada Berbagai Aerasi



Gambar 3 Profil Penurunan Konsentrasi Sianida pada Berbagai Aerasi

Dari Gambar 3, dapat dilihat bahwa perpindahan massa untuk oksidasi CN⁻ sudah berlangsung dengan baik, sebab kenaikan laju aerasi tidak lagi mempengaruhi proses perpindahan massa pada oksidasi sianida, karena CN⁻ yang bermuatan negatif tidak dapat menempel pada muatan TiO₂ yang juga bermuatan negatif pada kondisi basa. Sehingga proses oksidasi CN⁻ berlangsung di fasa curah, bukan di permukaan katalis.

Dalam menentukan laju aerasi optimum, dibutuhkan data konstanta laju reaksi pada setiap variasi laju aerasi. Laju aerasi optimum yaitu laju aerasi yang memberikan nilai konstanta laju reaksi terbesar, baik untuk reduksi cadmium maupun oksidasi sianida. Reaksi yang terjadi pada percobaan adalah reaksi heterogen yang perhitungan konstanta laju reaksinya dapat diwakili dengan model kinetika orde satu semu (*pseudo first order*) (Barakat, et.al. 2004) (Dabrowski, et.al., 2002). Model kinetika orde satu semu menyebabkan sistem reaksi seolah-olah merupakan sistem reaksi homogen. Laju reaksi orde satu adalah sebagai berikut:

$$\frac{dC}{dt} = -k' \cdot C$$

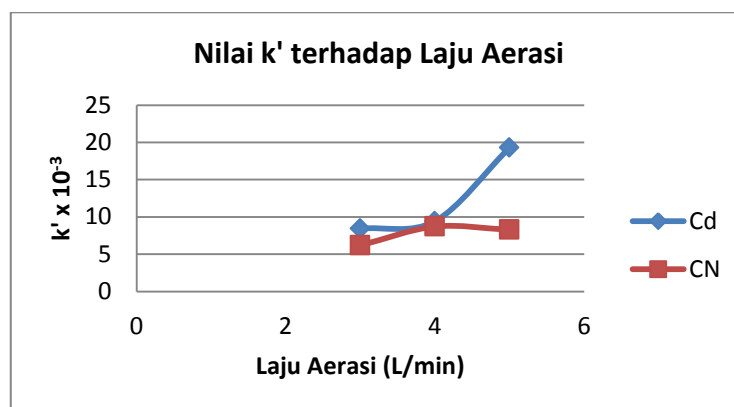
di mana k adalah konstanta laju reaksi (min⁻¹) dan C adalah konsentrasi (ppm).

Nilai konstanta pseudo orde 1 untuk oksidasi sianida dan reduksi cadmium disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan nilai konstanta laju reaksi sianida dan cadmium, dapat dibuat grafik antara konstanta laju reaksi dan laju aerasi untuk menentukan laju aerasi optimum (Gambar 4). Berdasarkan Gambar 4, dapat dilihat bahwa titik optimum hanya terdapat pada profil k' dari sianida. Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa k' sianida terbesar terdapat pada 4 L/min, sedangkan k' cadmium terbesar terdapat pada 5 L/min. Laju aerasi optimum ditentukan terdapat pada 5 L/min karena nilai k' cadmium pada 5 L/min jauh lebih besar dari k'

cadmium pada 4 L/min. Sedangkan nilai k' sianida pada 4 L/min hanya sedikit lebih besar dari k' sianida pada 5 L/min. Variasi laju aerasi 6 L/min tidak dilakukan karena keterbatasan alat. Pada laju aerasi 6 L/min, dorongan yang diberikan udara aerasi cukup besar sehingga lampu UV di dalam reaktor dapat terdorong keluar dari bagian atas reaktor.

Tabel 1 Konstanta Laju Reaksi Reduksi Cadmium dan Oksidasi Sianida

Laju Aerasi	$k' \text{ Cd}^{2+} \times 10^{-3}$	$k' \text{ CN}^- \times 10^{-3}$
3 L/min	8,43	6,9
4 L/min	9,43	8,71
5 L/min	19,3	8,28



Gambar 4 Profil Nilai k' Reaksi Reduksi Cadmium dan Oksidasi Sianida terhadap Variasi Laju Aerasi

Percobaan Utama

Setelah diperoleh laju aerasi optimum, maka laju aerasi tersebut digunakan dalam percobaan utama dengan variasi intensitas lampu dan konsentrasi katalis TiO_2 . Optimasi konsentrasi katalis dan intensitas lampu dilakukan karena adanya perubahan volume dan konsentrasi limbah yang akan diolah. Bila jumlah katalis banyak namun tidak diimbangi dengan banyaknya foton yang tersedia, maka tidak semua katalis akan bekerja optimal. Begitu juga sebaliknya, bila jumlah foton banyak namun tidak diimbangi dengan jumlah katalis, maka akan terjadi pemborosan energi. Kondisi yang akan digunakan dalam percobaan utama adalah pH 13 (Kristianto & Wicaksono, 2010). Hasil konstanta laju reaksi orde satu semu yang diperoleh untuk percobaan utama dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2 Konstanta Laju Reduksi Cadmium ($\times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$)

Intensitas Lampu (Watt/L)	Konsentrasi Katalis (g/L)		
	0,5	1	2
4,5	6,05	8,36	5,19
6	6,16	7,56	9,44
7,5	7,5	14,41	11,81

Tabel 3 Konstanta Laju Oksidasi Sianida ($\times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$)

Intensitas Lampu (Watt/L)	Konsentrasi Katalis (g/L)		
	0,5	1	2
4,5	3,86	4,41	3,84
6	4,33	5,28	8,72
7,5	3,31	2,12	27,13

Proses reduksi cadmium dan oksidasi sianida dipengaruhi pula oleh konsentrasi katalis yang digunakan. Umumnya, dengan penambahan katalis sampai pada konsentrasi optimum, laju reaksi akan meningkat. Penambahan katalis menyebabkan luas permukaan dan jumlah pusat aktif katalis bertambah sehingga memungkinkan senyawa yang teradsorpsi lebih banyak. Selain itu, penambahan katalis juga membuat absorpsi sinar UV lebih baik sehingga meningkatkan proses reduksi-oksidasi. Namun perlu diperhatikan, pada jumlah katalis yang berlebihan, dapat terjadi *shielding*. *Shielding* menyebabkan sinar UV sulit menembus partikel-partikel TiO_2 karena larutan terlalu keruh. Hal ini menurunkan efektivitas absorpsi sinar UV (Augugliaro, Loddo, Giuseppe, & Palmisano, 1997).

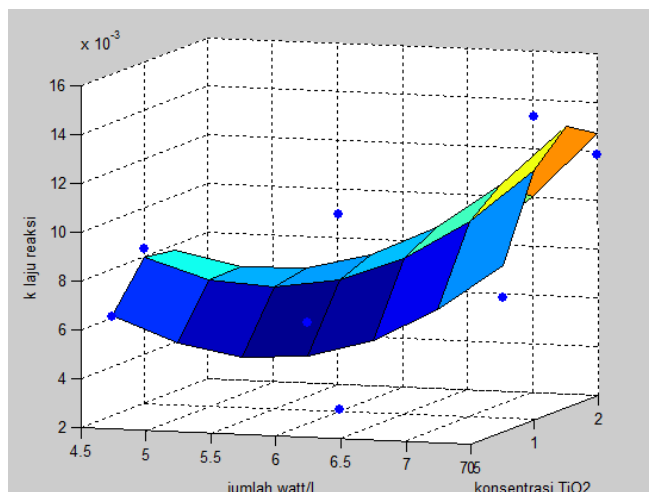
Pada percobaan, setiap intensitas lampu memiliki konsentrasi katalis optimum yang menghasilkan laju reaksi paling tinggi. Jumlah katalis yang terlalu sedikit akan mengakibatkan luas permukaan reaksi relatif kecil, sehingga reaksi tidak dapat berlangsung dengan baik. Sementara jumlah katalis yang terlalu banyak dapat menurunkan laju reaksinya. Namun pada tempuhan dengan intensitas lampu besar, laju reaksi semakin besar seiring dengan bertambahnya jumlah katalis. Hal ini dikarenakan intensitas lampu dapat mengkompensasi jumlah katalis sehingga diperoleh laju reaksi yang baik.

Response surface dibuat dari data konstanta laju reaksi yang dibuat model persamaan orde dua. Model persamaan dibuat sebagai berikut (Montgomery, 2004):

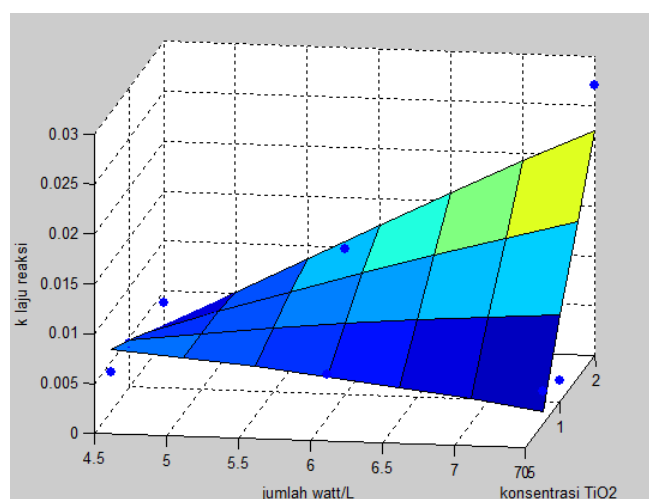
$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_1x_2 + a_4x_1^2 + a_5x_2^2$$

Analisa sampel dilakukan di Pusat Sumberdaya Air Tanah dan Geologi Lingkungan. Berdasarkan hasil yang diperoleh, terdapat data-data yang berfluktuasi, tidak sesuai dengan yang seharusnya yaitu konsentrasi terus mengalami penurunan. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh ketidaktelitian saat analisa seperti pada saat mengencerkan sampel, menambahkan reagen, atau saat mengasamkan sampel sebelum dianalisa. Oleh karena itu, dalam pengolahan data untuk menghitung nilai k, ada beberapa data di setiap run yang tidak digunakan.

Setelah diperoleh nilai k untuk setiap tempuhan percobaan, dibuat kurva response surface untuk cadmium dan sianida. Kondisi optimum ternyata tidak dapat ditemukan karena tidak terbentuk kubah, melainkan nilai k yang masih terus meningkat (lihat Gambar 5 dan Gambar 6).



Gambar 5 Grafik Response Surface Cadmium

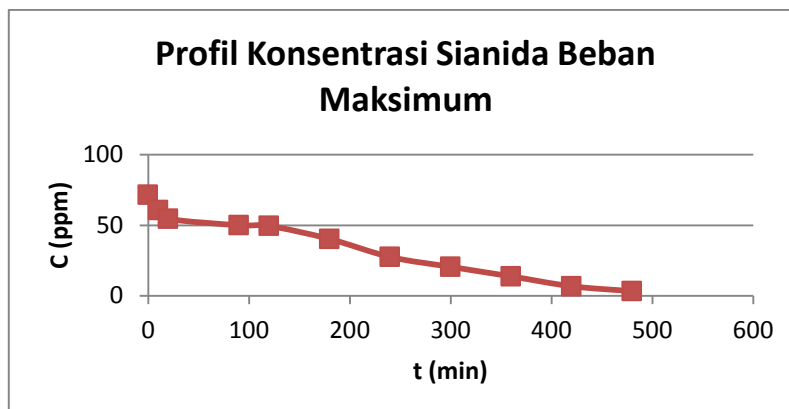


Gambar 6 Grafik Response Surface Sianida

Dari Gambar 5, dapat dilihat kondisi yang terbaik bagi cadmium adalah intensitas lampu 7,5 Watt/L dan jumlah katalis 1,5 g/L. Pada kondisi tersebut, diperoleh nilai k' yang paling besar. Sedangkan dari Gambar 6 dapat dilihat kondisi yang optimum bagi sianida adalah intensitas lampu 7,5 Watt/L dan jumlah katalis 2 g/L. Karena yang menjadi penentu adalah reaksi yang berjalan lebih lambat, maka kondisi terbaik ditentukan dari kondisi pada sianida yaitu intensitas lampu 7,5 Watt/L dan jumlah katalis 2 g/L. Pada sebagian besar data percobaan, dapat diketahui bahwa nilai k' sianida lebih kecil dari k' cadmium sehingga sianida yang berperan sebagai penentu.

Penentuan Waktu Pengolahan Limbah Maksimum dan Minimum

Selanjutnya, dilakukan pengolahan limbah dengan konsentrasi maksimum dan minimum untuk mengetahui waktu operasi yang dibutuhkan untuk mengolah limbah pada beban maksimum dan beban minimum. Konsentrasi maksimum yang digunakan yaitu 200 ppm Cd^{2+} dan 200 ppm CN⁻. Percobaan dilakukan selama 8 jam dan dapat dilihat profil penurunan konsentrasi sianida sebagai berikut.



Gambar 7 Penurunan Konsentrasi Sianida pada Beban Maksimum terhadap Waktu

Penggunaan profil konsentrasi sianida sebagai penentu dikarenakan laju oksidasi sianida lebih lambat dibanding laju reduksi cadmium. Laju oksidasi sianida adalah $4,20 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$, sedangkan laju reduksi cadmium adalah $4,49 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$. Dari hasil yang diperoleh, dapat diketahui bahwa 8 jam pengolahan belum dapat mencapai baku mutu konsentrasi sianida. Perkiraan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai baku mutu dilakukan dengan mengalurkan profil konsentrasi terhadap waktu dengan menggunakan nilai konstanta laju reaksi yang diperoleh. Berikut profil penurunan konsentrasi sianida dengan menggunakan nilai konstanta laju reaksi yang diperoleh.

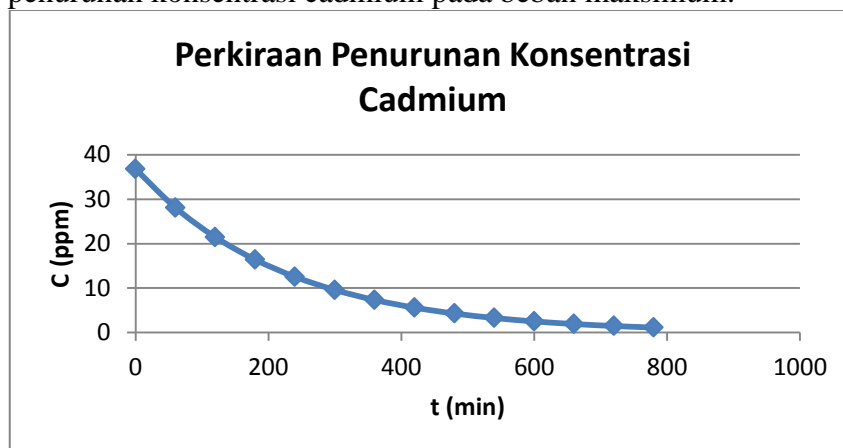


Gambar 8 Perkiraan Penurunan Konsentrasi Sianida pada Beban Maksimum terhadap Waktu

Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa untuk mencapai baku mutu, harus dilakukan pengolahan limbah selama 26 jam. Namun ada pertimbangan lain, yaitu pengolahan dilakukan hanya sampai konsentrasi 6 ppm dan hasil pengolahan akan dikembalikan ke bak pembilasan sebagai air proses. 6 ppm dipilih karena diperkirakan konsentrasi ini tidak terlalu mempengaruhi keseluruhan konsentrasi limbah di awal. Selain itu, juga dapat mempersingkat waktu yang diperlukan untuk pengolahan serta dapat menghemat pemakaian air proses. Oleh karena itu, ditentukan waktu pengolahan yang dibutuhkan untuk mengolah limbah pada beban maksimum hingga mencapai konsentrasi 6 ppm yaitu selama 10 jam. Dari Gambar 8 juga dapat dilihat pada jam ke-10 (menit ke-600) hingga seterusnya, laju reaksi sudah melambat, sehingga pengolahan sudah tidak efektif lagi bila dilanjutkan.

Berdasarkan survey, konsentrasi sianida pada beban minimum terlalu kecil sehingga tidak layak olah. Oleh karena itu, pada pengolahan beban minimum, hanya cadmium saja yang diolah. Konsentrasi cadmium yang digunakan sebesar 11,5 mg/L.

Perkiraan waktu yang dibutuhkan untuk mengolah limbah beban minimum sampai baku mutu dilakukan dengan mengalurkan konsentrasi cadmium pada beban maksimum terhadap waktu menggunakan nilai konstanta laju reaksi yang diperoleh, yaitu sebesar $4,49 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$. Dari perhitungan diperoleh waktu yang dibutuhkan agar beban minimum (11,5 ppm Cd^{2+}) dapat diolah sampai konsentrasi 6 ppm adalah selama 3 jam. Berikut perkiraan profil penurunan konsentrasi cadmium pada beban maksimum.



Gambar 9 Perkiraan Penurunan Konsentrasi Cadmium pada Beban Maksimum terhadap Waktu

Dari Gambar 9, dapat dilihat bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mengolah cadmium dengan konsentrasi 11,5 ppm hingga menjadi 6 ppm yaitu dari menit ke-240 sampai dengan menit ke-420. Artinya, waktu yang dibutuhkan yaitu selama 180 menit (3 jam).

Dengan dilakukannya pengolahan limbah pada beban maksimum dan minimum, SOP (Standard Operating Procedure) telah disusun untuk mempermudah dalam menjalankan prosedur pemakaian bubble column photoreactor untuk mengolah limbah cadmium dan sianida industri elektroplating dengan fotokatalisis UV/ TiO_2 .

KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal, antara lain:

1. Laju aerasi optimum untuk reaktor skala pilot yaitu 5 L/min.
2. Kondisi optimum untuk pengolahan limbah skala pilot pada pH awal larutan 13, katalis 2 g/L, dan intensitas lampu 7,5 Watt/L.
3. Pengolahan limbah pada beban maksimum diperkirakan selama 10 jam, sedangkan pada beban minimum selama 3 jam.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, n.d. Fokus : *Cadmium Plating*, [online]. Tersedia : <<http://www.poeton.co.uk/w1/cadmium.htm>> [Tanggal akses : 10 April 2012]

