

DESAIN EKSPERIMEN PENGARUH ZEOLIT TERHADAP PENURUNAN LIMBAH KADMIUM (Cd)

Merry Siska¹, Rudy Salam²

Abstrak: Pencemaran lingkungan yang terjadi banyak disebabkan oleh limbah dari logam berat suatu industri, terutama industri pelapisan logam. Logam berat seperti kadmium (Cd) merupakan limbah dari pelapisan logam yang memiliki efek negatif bagi makhluk hidup. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan zeolit dalam menurunkan kadar limbah kadmium (Cd) dari proses pelapisan logam. Bahan kajian dalam penelitian ini adalah kemampuan zeolit dalam menurunkan limbah kadmium (Cd) pada proses pelapisan logam. Penelitian ini menggunakan metode desain eksperimen rancangan acak lengkap untuk mengoptimalkan paduan parameter-parameter dan variabel yang ada dan hal yang berkaitan dengan penetapan baku mutu limbah agar dapat dibuang ke lingkungan. Setelah dilakukan eksperimen dan pengolahan data didapat nilai $F_{\text{Hitung}} (0.22924) < F_{(\text{Tabel}, \alpha, 0.05)} (3.49)$ untuk tingkat kepercayaan 95% dan pada tingkat kepercayaan 99% $F_{\text{Hitung}} (0.22924) < F_{(\text{Tabel}, \alpha, 0.01)} (5.95)$ maka hipotesis yang diajukan ditolak, sehingga hasil ini mengemukakan bahwa zeolit memberikan manfaat yang nyata terhadap penurunan kadar kadmium (Cd) limbah pelapisan logam. Disarankan bagi perusahaan untuk mengatasi permasalahan yang terjadi dalam mengatasi limbah ini, harus ada penggunaan bahan alternatif yang dapat digunakan untuk mengatasi limbah kadmium agar dapat dibuang ke lingkungan dan sesuai ketentuan kementerian lingkungan hidup tanpa mengakibatkan polusi dan merusak ekosistem makhluk hidup lainnya.

Kata Kunci : *zeolit, cadmium (Cd), desain eksperimen.*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Usaha untuk mencapai tingkat kualitas hidup manusia yang semakin berkembang telah melahirkan pemakaian mesin dan peralatan baru dalam bidang industri serta pemanfaatan teknologi untuk mendapatkan produk yang berkualitas tinggi, dengan tujuan pencapaian sasaran kualitas hidup manusia yang lebih baik. Akibatnya berkembanglah industri-industri barang dan jasa [Ferdiaz,1992].

Salah satu industri pelapisan logam yang berada di Pekanbaru adalah Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating* Industri yang berada di bawah Dinas Perindustrian dan Perdagangan Provinsi Riau. Unit Pelatihan Terpadu ini sebagai tempat pelatihan bagi para calon tenaga kerja untuk memperoleh keterampilan dalam berbagai jenis keahlian seperti bidang kerajinan, pengemasan produk makanan, termasuk pelatihan dalam pelapisan logam.

Bidang usaha pelapisan logam ini, dimana proses pelapisan logam ini menghasilkan limbah cair, limbah ini bersifat asam alkali yang mengandung sianida

¹ Jurusan Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sultan Syarif Kasim Jl.H.R.Soebrantas No.155, KM 18, Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Email : merrysiska@yahoo.com

² Jurusan Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sultan Syarif Kasim Jl.H.R.Soebrantas No.155, KM 18, Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

Naskah diterima: 15 Okt 2012, direvisi:11 Des 2012, disetujui: 22 Des 2012

beracun dan logam beracun. Sumber utama air limbah adalah larutan sisa proses *elektroplating* itu sendiri dan larutan pembilasan dari tiga tangki larutan dimana dengan proses kerja logam yang akan dilapisi dimasukkan kedalam tangki-tangki yang berisi larutan asam dan garam logam kemudian dibilas dengan air. Air pembilasan inilah yang menjadi sumber utama limbah logam berat.

Limbah yang dihasilkan dalam proses *elektroplating* dialirkan ke dalam kolam pengolahan limbah. Berdasarkan hasil analisis pada air sampel limbah industri tersebut yang dilakukan pada Oktober 2010 di laboratorium kimia *instrument* Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating* didapatkan kadar kadmium sebesar 0,089mg/l yang diambil laporan industri tersebut. Hasil analisis tersebut masih berada pada baku mutu yang telah ditetapkan sesuai dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan hidup Nomor: KEP-51/MENLH/10/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi kegiatan industri pelapisan logam dengan nilai toleransi yang boleh dibuang ke lingkungan adalah 0,05 mg/l dan tidak di izinkan untuk dibuang ke lingkungan.

Limbah kadmium berasal dari pembuangan industri dan limbah pertambangan. Efek keracunan yang dapat ditimbulkannya berupa penyakit paru-paru, hati, tekanan darah tinggi, gangguan pada sistem ginjal dan kalenjar pencernaan serta kerapuhan pada tulang [Saeni, 1997].

Ofish pada tahun 2002 dalam penelitiannya menyatakan urutan tingkat racun berbagai logam berat terhadap makhluk hidup mulai dari yang terbesar adalah Hg, Cu, Pb, Cd, Al, Zn, Ni, Cr, Co, Mn, sedangkan kadar standar baku mutu logam kadmium bagi makhluk hidup adalah 0,01 ppm. Untuk itu perlu dilakukan penurunan kadar kadmium sebelum dialirkan ke perairan umum agar tidak membahayakan makhluk diperairan dan sekitarnya tersebut. Salah satu cara yang digunakan untuk menurunkan kadar kadmium dengan memanfaatkan mineral alam zeolit ($\text{Na}_4\text{K}_4\text{AlSiO}_8\text{O}_{96} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$). Zeolit dapat menyerap ion-ion kadmium [Suryatono, *et.,al.*, 1991] .

Zeolit merupakan Aluminosilikat dengan struktur kerangka berpori yang berhubungan kesegala arah yang menyebabkan permukaan zeolit menjadi sangat luas sehingga dapat digunakan sebagai penyerap. Selain itu harga zeolit relatif terjangkau yaitu Rp 650/Kg. sehingga pengaplikasian zeolit sebagai bahan penyerap sangat memungkinkan untuk dilakukan.

Desain eksperimen atau perancangan percobaan adalah suatu rancangan percobaan (dengan setiap langkah tindakan yang benar-benar terdefiniskan) sedemikian rupa sehingga informasi yang berhubungan dengan atau yang diperlukan untuk persoalan yang sedang diteliti dapat dikumpulkan [Sudjana, 1994].

Selain itu, desain eksperimen juga didefinisikan sebagai suatu pengujian atau serangkaian pengujian yang bertujuan untuk melakukan perubahan terhadap variabel-variabel input dari proses atau sistem sehingga dapat meneliti dan mengidentifikasi sebab perubahan dari *output* [Sudjana, 1994].

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh penambahan zeolit untuk menurunkan kadar limbah kadmium (Cd) pada kolam IV di Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru.

Agar permasalahan tidak terlalu luas ruang lingkupnya, maka penulis membatasi masalah pada :

1. Penelitian dilakukan pada bagian pelapisan logam di Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating* Pekanbaru pada bulan Maret-April 2012
2. Kadar Kadmium awal dianggap sama sebelum diberi perlakuan.
3. Volume air yang meresap ke dalam tanah tidak dipertimbangkan.

LANDASAN TEORI

Zeolit ($\text{Na}_4\text{K}_4\text{AlSi}_8\text{O}_{96} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$)

Penamaan zeolit ($\text{Na}_4\text{K}_4\text{AlSi}_8\text{O}_{96} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$) berasal dari kata “Zein” yang berarti mendidih dan “Lithos” yang berarti batuan, disebut demikian karena mineral ini mempunyai sifat mendidih atau mengembang bila dipanaskan (Siddik, 1992). Secara geologis, endapan zeolit ($\text{Na}_4\text{K}_4\text{AlSi}_8\text{O}_{96} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$) terbentuk karena proses sedimentasi debu vulkanik pada lingkungan danau yang bersifat alkali (air asin), proses diagenetik (metamorfosa tingkat rendah) dan proses hidrotermal [Arifin, *et. al.*, 1997].

Zeolit ($\text{Na}_4\text{K}_4\text{AlSi}_8\text{O}_{96} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$) dengan struktur kerangka berongga adalah jenis kristal yang pertama ditemukan. Oleh karena itu Zeolit ($\text{Na}_4\text{K}_4\text{AlSi}_8\text{O}_{96} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$) didefinisikan sebagai suatu aluminosilikat yang mempunyai struktur kerangka berpori yang berisi kation dan molekul air dimana keduanya dapat bebas berpindah dalam batasan pertukaran ion reversibel dan dehidrasi reversibel [Riyanto, 1991].

Struktur Zeolit ($\text{Na}_4\text{K}_4\text{AlSi}_8\text{O}_{96} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$) terbentuk atas unit-unit dasar pembangunan primer yang akan bergabung membentuk pembangunan sekunder. Selanjutnya unit pembangunan sekunder akan membentuk polihedral-polihedral yang besar sebagai kristal zeolit. Bentuk kristalnya yang sangat teratur dan indah dengan rongga-rongga yang saling berhubungan kesegala arah menyebabkan permukaan zeolit menjadi sangat luas, sehingga baik bila dijadikan sebagai penyerap [Indriana, 1999]. Zeolit mempunyai variasi warna berupa hijau, kebiru-biruan, putih dan coklat dengan lunak kekerasan 1-3, berat jenis 2-2,4 dan sifat lain yang menonjol, antara lain struktur kristal tiga dimensi, tetra hidriasilikat (tectosilikat), kapasitas pertukaran ion serta mempunyai daya serap yang tinggi [Siddik, *et. al.*, 1991].

Zeolit kini berpeluang sangat luas dipergunakan dalam kehidupan manusia baik pertanian, peternakan, perikanan, farmasi, lingkungan, industri, dan berbagai aktifitas manusia lainnya. Disamping itu penambangan dan pembudidayaan zeolit telah mulai dilakukan oleh berbagai industri baik skala menengah maupun skala besar [Sachari, 1996].

Pengaruh Logam Berat Cd bagi Organisme dan Manusia

Logam berat berefek negatif bagi manusia dan organisme karena logam berat yang terlarut dalam tanah dan air pada konsentrasi tertentu akan berubah fungsi menjadi sumber racun. Logam berat bisa sebagai *nutrient* dalam berbagai proses metabolisme pada organisme dan bisa sebagai racun yang sangat berbahaya bila dalam jumlah berlebihan. Logam berat dalam metabolisme bersifat racun karena bereaksi dengan ligan dan mengganggu kerja enzim dalam tubuh organisme [Zulfetri, 1990].

Rallar [1994] mengemukakan logam berat tersebut diketahui dapat mengumpul dalam tubuh organisme dan akan tetap tinggal dalam tubuh pada waktu yang lama sebagai racun yang terakumulasi. Keracunan kronis yang disebabkan oleh kadmium (Cd) umumnya berupa kerusakan-kerusakan pada sistem fisiologis tubuh. Sistem-sistem yang dapat rusak akibat keracunan kronis Cd adalah pada sistem urinaria (ginjal), sistem respirasi (pernafasan), sistem sirkulasi dan jantung.

Proses Pelapisan Logam

Proses *electroplating* atau lebih dikenal dengan proses pelapisan logam bertujuan untuk memperindah lapisan logam menjadi lebih mengkilat. Dalam pelapisan ini ada empat proses. Proses pertama penghilang lemak dengan

menggunakan larutan Bezena, Trikloroetilen, Metil Klorida, Toluena, Karbon Tetraklorida, kemudian dilanjutkan pada proses kedua yaitu descaling dengan menggunakan larutan Kostik, Sodium Karbonat, Boraks, Sabun. Proses ketiga pengasaman dengan menggunakan larutan H_2SO_4 dan HCl yang ditempatkan pada sebuah tangki larutan yang mengandung Cu, Cr, Ni, Zn, Asam Alkali, CN, Cd, Pb, Timah, Au, Ag, Pt semua proses di atas selalu diakhiri dengan melakukan pembilasan pada benda yang dilapisi logam. Air bilasan inilah yang menjadi limbah yang menjadi logam berat pada unit pengolahan limbah Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating Industri Pekanbaru* [Suhardi, 1998].

Desain Eksperimen

Desain eksperimen atau rancangan percobaan adalah suatu rancangan percobaan (dengan setiap langkah tindakan yang benar-benar terdefiniskan) sedemikian rupa sehingga informasi yang berhubungan dengan atau yang diperlukan untuk persoalan yang sedang diteliti dapat dikumpulkan [Sudjana, 1994].

Selain itu, desain eksperimen juga didefinisikan sebagai suatu pengujian atau serangkaian pengujian yang bertujuan untuk melakukan perubahan terhadap variabel-variabel input dari proses atau sistem sehingga dapat meneliti dan mengidentifikasi sebab perubahan dari *output* [Sudjana, 1994].

Eksperimen dapat diartikan sebagai sebuah atau sekumpulan percobaan yang dilakukan melalui perubahan-perubahan yang terencana terhadap variabel *input* suatu proses sehingga dapat ditelusuri penyebab dan faktor-faktor sehingga membawa perubahan pada *output* sebagai respon dari eksperimen yang telah dilakukan [Sudjana, 1994].

Adapun beberapa prinsip dalam metode desain eksperimen yaitu :

1. *Randomization*, dimana alokasi eksperimen dan urutan percobaan dilakukan melalui penentuan secara acak (*randomly determined*).
2. Replikasi, yaitu pengulangan tiap kombinasi faktor secara independen.
3. *Blocking*, yaitu sebuah teknik rancangan yang digunakan untuk meningkatkan ketepatan perbandingan antar yang diteliti. Ini juga digunakan untuk mengurangi atau mengeliminasi variabilitas yang ditransmisi dari *nuisance factors* (faktor yang mungkin berpengaruh pada respon tapi biasanya tidak memiliki kepentingan langsung).

Rancangan Acak Lengkap

Rancangan acak lengkap didefinisikan sebagai suatu eksperimen di mana kita hanya mempunyai sebuah faktor yang nilainya berubah-ubah [Sudjana, 1994]. Faktor yang diperhatikan dapat memiliki sejumlah taraf dengan nilai yang bisa kuantitatif, kualitatif, bersifat tetap ataupun acak. Pengacakan mengenai eksperimen tidak ada pembatasan, dan dalam hal demikian kita peroleh desain yang diacak secara lengkap atau sempurna yang biasa kita sebut dengan desain rancangan acak lengkap (RAL). Jadi rancangan acak lengkap adalah desain di mana perlakuan dikenakan sepenuhnya secara acak kepada unit-unit eksperimen, atau sebaliknya. Dengan demikian tidak terdapat batasan terhadap pengacakan seperti misalnya dengan adanya pemblokkan dan pengalokasian perlakuan terhadap unit-unit eksperimen. Karena bentuknya sederhana, maka desain ini banyak digunakan. Akan tetapi satu hal harus diingat, bahwa desain ini hanya dapat digunakan apabila persoalan yang dibahas mempunyai unit-unit eksperimen yang bersifat homogen. Jika hal ini terjadi, maka pemblokkan harus diadakan agar efisien desain menjadi meningkat. Prosedur rancangan acak

lengkap juga mempergunakan prosedur uji hipotesis yang sama dengan prosedur uji hipotesis yang lain

METODE PENELITIAN

Studi Pendahuluan

Tahap ini sangat perlu untuk dilakukan yaitu untuk mempermudah mendapatkan dan menemukan permasalahan yang terjadi dan yang akan diteliti. Adapun cara-cara melakukan studi pendahuluan adalah sebagai berikut :

1. Orientasi terhadap perusahaan dengan cara *survey* dan wawancara
2. Menentukan tema permasalahan yang akan diteliti dengan cara melakukan *study* pustaka
3. Melakukan survei lapangan langsung yang dalam hal ini di Riau Electroplating Industri Pekanbaru
4. Mencari data dari perusahaan dengan cara melakukan *survey* dan mencari informasi sebanyak-banyaknya mengenai data-data yang berhubungan dengan limbah kadmium (Cd).
5. Konsultasi dan diskusi

Perumusan Masalah

Tujuan dari perumusan masalah ini untuk memperjelas tentang masalah yang akan diteliti dan dibahas dalam penelitian ini.

Studi Literatur

Tahap ini dilakukan bertujuan untuk mendapatkan referensi-referensi atau literatur-literatur yang bisa mendukung dalam pemecahan permasalahan yang ada.

Pengumpulan Data

Untuk menghasilkan penelitian yang ilmiah dan bisa dipertanggung jawabkan, data merupakan hal yang sangat signifikan dan krusial. Oleh sebab itu data yang dikumpulkan haruslah benar-benar riil dan bukan rekayasa.

Pengolahan Data

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode eksperimen dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Sebagai perlakuan adalah berat zeolit yang terdiri dari empat taraf perlakuan 0 (kontrol), 5, 10, dan 15 gr dengan waktu pengamatan yang dianggap sebagai Blok yakni 6, 12, 18, dan 24 jam, sehingga dalam penelitian ini terdapat 16 satuan percobaan. Dalam RAL blok berlaku sebagai ulangan. Data yang dikumpulkan merupakan data primer dan data sekunder. Model matematis yang digunakan dalam penelitian ini adalah model tetap (Sudjana, 1994) yaitu :

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \sum_{ij}$$

i = Blok (I, II, III, IV) waktu dedah (6, 12, 18, 24 jam)

j = Perlakuan (0 kontrol), 5, 15 gr) berat zeolit

dimana :

Y_{ij} = Variabel respon (penurunan kadar kadmium) karena pengaruh zeolit

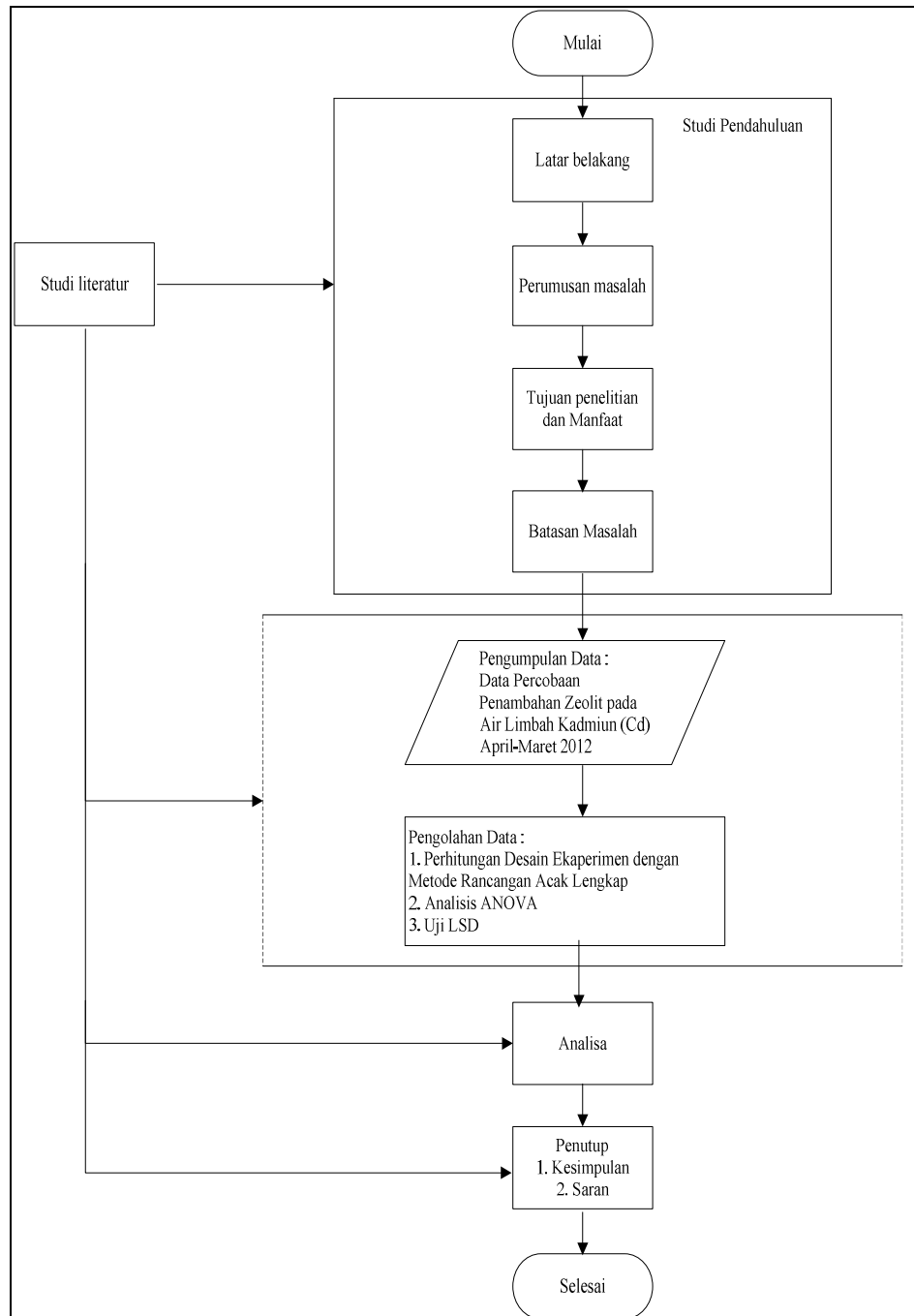
μ = Efek rata-rata

α_i = Efek waktu dedah

β_j = Efek berat zeolit

\sum_{ij} = Efek percobaan karena waktu ke-I dan perlakuan ke-j

Setelah data diperoleh, maka langkah berikutnya adalah mengolah data dengan menggunakan Metode Rancangan Acak Lengkap dan kemudian akan dilakukan analisis ANOVA untuk melihat pengaruh zeolit dengan tingkat keyakinan 95% dan 99% Tujuan dari pengolahan data adalah untuk memudahkan peneliti dalam pengambilan keputusan atau solusi yang akan diberikan terhadap masalah yang diteliti.



Gambar 1. Diagam Alir Penelitian

Analisa Data

Menentukan apakah hipotesis diterima atau ditolak dilakukan dengan membandingkan F_{hitung} dengan F_{tabel} , dengan ketentuan sebagai berikut :

- Apabila $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka hipotesis ditolak
- Apabila $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka hipotesis diterima

Apabila hipotesis diterima, maka uji telah selesai dilakukan. Namun apabila ditolak maka akan dilanjutkan dengan Uji *Least Significant Different* untuk melihat perbandingan antara perlakuan yang disebabkan dengan penambahan zeolit [Sudjana, 1994].

Penutup

Menguraikan secara singkat mengenai kesimpulan dan saran dari penelitian dan penulisan laporan penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian Pendahuluan

Penelitian awal yang dilakukan untuk mendapatkan kisaran angka yang lebih dekat pada penelitian inti. Pada penelitian awal didapatkan kadar awal kadmium sebesar 0.086 mg/l untuk lebih lengkapnya lihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Penelitian Pendahuluan

Jam	Z0	Z10 (gr)	Z20 (gr)	Z30 (gr)
12	0.078 mg/l	0.078 mg/l	0.019 mg/l	0.038 mg/l
24	0.065 mg/l	0.021 mg/l	0.020 mg/l	0.047 mg/l
36	0.062 mg/l	0.019 mg/l	0.048 mg/l	0.045 mg/l

Dari tabel 1. didapatkan bahwa perlakuan zeolit dengan berat 10 gr dan waktu pengamatan 12 jam sudah dapat menurunkan kadar logam berat, sehingga untuk penelitian inti diambil berat zeolit 0 gr, 5 gr, 10 gr, dan 15 gr dengan waktu pengamatan 6 jam, 12 jam, 18 jam, dan 24 jam.

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Maret-April 2012, sampel air limbah diambil dari kolam IV (terakhir) pengolahan limbah pelapisan logam Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru. Pemberian perlakuan dan analisis parameter kualitas air Laboratorium Kimia Organik sedangkan analisis logam berat dilakukan di Laboratorium Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru.

Alat dan bahan terlebih dahulu disiapkan di laboratorium sesuai dengan rancangan yang digunakan, khusus untuk bahan air limbah diambil dari kolam IV pengolahan air limbah pelapisan logam Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating* Industri. Penempatan wadah uji pada penelitian dilakukan secara acak dengan tujuan agar setiap bahan uji dapat menerima kondisi lingkungan yang sama, kemudian kedalam masing-masing wadah tersebut dimasukkan air sampel sebanyak 1 liter.

Dimana kadar awal kadmium (Cd) pada air sampel telah diukur terlebih dahulu. Kemudian zeolit dimasukkan dalam wadah uji yang berisi sampel air limbah lalu diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 20 menit agar zeolit bercampur merata. Kemudian dibiarkan selama waktu dedah yang telah ditentukan yaitu 6, 12, 18, 24 jam. Selanjutnya dilakukan analisis kadar kadmium (Cd) pada masing-masing satuan percobaan yang dilakukan sesuai dengan waktu dedah yang telah ditetapkan.

Bahan dan Alat

Bahan uji yang digunakan adalah zeolit yang telah di aktivasi yang diperoleh dari PT. Dinamika Arba Zeolit, Yogyakarta. Spesifikasi zeolit pada penelitian ini dari jenis Mordernite, mempunyai warna putih kehijau-hijauan, berbentuk powder 60 mesh, kapasitas tukar kation (KTK) 130 meg /100 g, dan dalam setiap 1 Kg mengandung : SiO₂ (62,75 %), Al₂O₃ (13,63 %), K₂O (1,39 %), CaO (3,42%), Na₂O (1,32 %), MnO (6,7 %), Fe₂O₃ (2,112 %), MgO (0,87 %).

Ukuran zeolit yang digunakan merujuk pada penelitian [Husaini.,*et.,al.*, 1992] yaitu 60 mesh (0,0250 mm). untuk mendapatkan ukuran 60 mesh, zeolit dari PT. Dinamika Arbat Zeolit diayak dengan ayakan ASTM *Standar Test Silve*.

Air limbah yang diambil sebanyak 20 liter, sedangkan alat yang digunakan adalah aquarium yang berukuran 10x10x30 cm, *magnetic stirer*, blender, ayakan ASTM *Standar Test Sive*. Satuan percobaan dalam penelitian ini adalah air limbah sebanyak 1 liter yang mengandung Kadmium (Cd) yang dimasukkan kedalam aquarium berukuran 10x10x30 cm. pengacakan dalam penelitian ini baik terhadap Taraf dan Blok.

Desain Eksperimen Penurunan Kadar Kadmium Air Limbah Pelapisan Logam Unit Pelatihan Terpadu Riau *Elektroplating* Industri Pekanbaru pada Masing-Masing Perlakuan.

Pada perhitungan ini harus menentukan data percobaan yang telah dilakukan untuk dipergunakan dalam pengolahan data desain eksperimen metode rancangan acak lengkap, kemudian menyajikan dalam bentuk tabel [Sudjana, 2009], hal ini dikarenakan untuk mempermudah dalam menentukan total dan rata-rata dalam penghitungan disetiap baris maupun kolomnya.

Tabel 2. Perhitungan Analisis Variansi

Waktu Pengamatan (Jam)	Perlakuan Zeolit (gr)				Total	Rata
	0	5	10	15		
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		
6	0.005	0.037	0.076	0.075	0.193	0.048
12	0.007	0.042	0.076	0.076	0.201	0.050
18	0.01	0.047	0.077	0.077	0.211	0.053
24	0.011	0.05	0.077	0.074	0.212	0.053
	Total				0.817	0.204
	Rata-Rata				0.204	0.051

Sebelum melakukan perhitungan lebih lanjut maka sebaiknya menentukan terlebih dahulu bagian yang digunakan sebagai perlakuan (a = 0; 5; 10; 15) dan pengulangan (n = 6; 12; 18; 24). Kemudian menentukan nilai N dimana nilai ini dapat ditentukan dengan mengalikan jumlah pengulangan dan perlakuan. Hal ini dimaksudkan untuk mempermudah dalam menentukan nilai F tabel.

Diketahui :

$$n = 4, \quad a = 4$$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } N &= n \times a & N - a &= 16 - 4 & a - 1 &= 4 - 1 \\ &= 4 \times 4 & &= 12 & &= 3 \\ &= 16 & & & & \end{aligned}$$

Sum of Square Treatment ($SS_{Treatment}$) ditentukan dengan menggunakan rumus (2-1) yang telah dijelaskan dalam Bab II yaitu dengan mengurangkan rata-rata dari setiap baris (lihat tabel 4.2) dengan rata-rata dari total rata-rata (lihat Tabel 2) yang kemudian dikuadratkan dan dikalikan dengan pengulangan (n) maka akan didapat sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 SS_{Treatment} &= \sum_{j=1}^b k (\bar{x}_j - \bar{\bar{x}})^2 \\
 &= 4 (0.048 - 0.051)^2 + \dots + (0.053 - 0.051)^2 \\
 &= 0.000072
 \end{aligned}$$

Sum of Square Total (SS_{Total}) dapat ditentukan dengan menggunakan rumus (2-2) yaitu dengan mengurangkan seluruh data pada tabel 4.2 dengan rata-rata dari total rata-rata (lihat tabel 4.2) kemudian dikuadratkan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 SS_{Total} &= (Y_{ij} - Y_{..})^2 \\
 &= (0.005 - 0.051)^2 + \dots + (0.074 - 0.051)^2 \\
 &= 0.012635
 \end{aligned}$$

Sum of Square Error (SS_{Error}) ditentukan dengan mengurangkan nilai dari *Sum of Square Total* (SS_{Total}) dengan *Sum of Square Treatment* ($SS_{Treatment}$).

$$\begin{aligned}
 SS_{Error} &= SS_{Total} - SS_{Treatment} \\
 &= 0.012635 - 0.000072 \\
 &= 0.012563
 \end{aligned}$$

Mean Square Treatment ($MS_{Treatment}$) ditentukan dengan membagi nilai *Sum of Square Treatment* ($SS_{Treatment}$) dengan $a-1$ diatas, dan akan didapat nilai sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 MS_{Treatment} &= \frac{SS_{Treatment}}{a - 1} \\
 &= \frac{0.000072}{3} \\
 &= 0.000024
 \end{aligned}$$

Nilai *Mean Square Error* (MS_{Error}) didapat dengan membagi nilai *Sum of Square Error* (SS_{Error}) dengan $N-a$ diatas, dan akan didapat nilai sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 MS_{Error} &= \frac{SS_{Error}}{N - a} \\
 &= \frac{0.012563}{12} \\
 &= 0.001046916
 \end{aligned}$$

Distribusi F hitung dapat ditentukan dengan membagi nilai *Mean Square Treatment* ($MS_{Treatment}$) dengan nilai *Mean Square Error* (MS_{Error}) yaitu :

$$\begin{aligned}
 F_{Hitung} &= \frac{MS_{Treatment}}{MS_{Error}} \\
 &= \frac{0.000024}{0.001046916} \\
 &= 0.22924475
 \end{aligned}$$

Nilai F tabel ditentukan dengan melihat nilai persentil distribusi F dengan tingkat kepercayaan $P = 0.05$ untuk $\alpha = 95\%$ dan $\alpha = 99\%$ untuk $P = 0.01$ dengan nilai $V_1 = 3$ dan $V_2 = 12$ maka akan di dapat nilai sebagai sebagai berikut :

$$F_{Tabel} (\alpha = 95\%) = 0.05, 3, 12 = 3.49$$

$$F_{Tabel} (\alpha = 99\%) = 0.01, 3, 12 = 5.95$$

Tabel 3. Hasil Analisis Varians Pemanfaatan Zeolit Terhadap Penurunan Kadar Kadmium Limbah Pelapisan Logam Selama Penelitian

Source of Variansi	SS	MS	DF	F hit	F tab	
					0.05	0.01
Treatment	0.000072	0.000024	3			
Error	0.012563	0.001046916	12	0.22924	3.49	5.95
Total	0.012635					

Berdasarkan Tabel 3. Di atas terlihat bahwa ada manfaat zeolit terhadap penurunan kadar kadmium di dalam limbah pelapisan logam, dengan didapatnya nilai $F_{Hitung} (0.22924) < F_{Tabel} \alpha 0.05 (3.49)$ sehingga hipotesis yang diajukan ditolak. Hasil ini mengemukakan bahwa zeolit memberikan manfaat yang nyata terhadap penurunan kadar kadmium limbah pelapisan logam.

Sedangkan untuk pengujian dengan tingkat kepercayaan 99 % Hasil uji statistik F pada Tabel 4.3. Menunjukkan bahwa $F_{Hitung} (0.22924) < F_{Tabel} \alpha 0.01 (5.95)$ pada tingkat kepercayaan 99 %. Hal ini berarti zeolit memberikan pengaruh yang nyata terhadap penurunan kadar kadmium. Untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan kadmium dalam air sampel maka dilakukan uji *Least Significant Difference (LSD)*.

Uji *Least Significant Difference (LSD)*

Uji *least significant difference* atau uji perbedaan signifikan terkecil dimaksudkan untuk membandingkan nilai dari setiap pasangan-pasangan rata-rata (*pairs of mean*) yang bertujuan untuk menentukan bagian yang ditolak dari serangkaian pengujian, hal ini sebenarnya merupakan lanjutan dari serangkaian uji t menggunakan estimasi keseluruhan *F Mean Square Error (MS_{Error})* [Sudjana 2009].

Perbandingan ini ditentukan dengan mengurangi nilai rata-rata baris pertama dengan rata-rata baris kedua, nilai rata-rata baris pertama dengan rata-rata baris ketiga hingga rata-rata baris pertama dengan rata-rata baris keempat dan begitu seterusnya sampai pada rata-rata baris ketiga dengan rata-rata baris keempat.

$$\begin{aligned}
 Y_1 - Y_2 &= 0.048 - 0.050 & Y_2 - Y_3 &= 0.050 - 0.053 \\
 &= - 0.002 & &= - 0.003 \\
 Y_1 - Y_3 &= 0.048 - 0.053 & Y_2 - Y_4 &= 0.050 - 0.053 \\
 &= - 0.005 & &= -0.003 \\
 Y_1 - Y_4 &= 0.048 - 0.053 & Y_3 - Y_4 &= 0.053 - 0.053 \\
 &= - 0.005 & &= 0
 \end{aligned}$$

Nilai uji *least significant difference (LSD)* dapat ditentukan dengan merujuk pada tabel distribusi F dengan nilai $\alpha : 95\%$ atau $P : 0.05$ dan nilai $V : 12$ dan dikalikan dengan nilai akar *Mean Square Error (MS_{Error})* dikalikan $2/n$ maka akan didapat nilai sebagai berikut:

$$LSD = LSD_{\alpha : 0.05, N-a} \sqrt{MSE \times \frac{2}{n}}$$

$$LSD = 2.24 (0.0229) \\ = \mathbf{0.051296}$$

Perbandingan nilai $|Y_i - Y_j|$ dengan nilai *least significant difference* dapat dilakukan dengan membandingkan nilai $|Y_i - Y_j|$ dengan nilai *LSD*, apabila nilai $|Y_i - Y_j|$ lebih kecil dari nilai *LSD* maka pengujian ditolak, sedangkan jika nilai $|Y_i - Y_j|$ lebih besar dari nilai *LSD* maka pengujian diterima, maka akan didapat nilai sebagai berikut :

$$\begin{array}{l} Y_1 - Y_2 \quad | - 0.002 \quad | < LSD (0.051296) : Tolak \\ Y_1 - Y_3 \quad | - 0.005 \quad | < LSD (0.051296) : Tolak \\ Y_1 - Y_4 \quad | - 0.005 \quad | < LSD (0.051296) : Tolak \\ Y_2 - Y_3 \quad | - 0.003 \quad | < LSD (0.051296) : Tolak \\ Y_2 - Y_4 \quad | - 0.003 \quad | < LSD (0.051296) : Tolak \\ Y_3 - Y_4 \quad | 0 \quad | < LSD (0.051296) : Tolak \end{array}$$

Uji *Least Significant Difference* yang dilakukan terlihat bahwa seluruh pengajuan ditolak, artinya zeolit memberikan pengaruh terhadap penurunan limbah kadmium (Cd).

Maka kadar kadmium yang telah ditetapkan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 51/MENLH/10/1995. Tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi kegiatan industri pelapisan logam dengan nilai toleransi yang boleh dibuang ke lingkungan adalah 0.05 mg/l.

KESIMPULAN

Berdasarkan Tabel 4. *ANOVA* dapat dilihat bahwa dengan didapatnya nilai $F_{Hitung} (0.22924) < F_{(Tabel \alpha 0.05)} (3.49)$ dengan tingkat kepercayaan 95%, sehingga hipotesis yang diajukan ditolak. Hal yang sama juga terjadi pada tingkat kepercayaan 99% $F_{Hitung} (0.22924) < F_{(Tabel \alpha 0.01)} (5.95)$, maka hipotesis yang diajukan juga ditolak sehingga hasil ini menyatakan bahwa zeolit memberikan manfaat yang nyata terhadap penurunan kadar kadmium (Cd) limbah pelapisan logam.

Tabel 4. Hasil Analisis Variansi *ANOVA*

Source of Variansi	SS	MS	DF	F hit	F tab	
					0.05	0.01
Treatment	0.000072	0.000024	3			
Error	0.012563	0.001046916	12	0.22924	3.49	5.95
Total	0.012635					

Daftar Pustaka

- Alaerts, G.; Santika, S.S. 1987. *Metoda Penelitian Air*. Surabaya: Penerbit Usaha Nasional
- Boyd, C.E. 1999. *Water Quality in Warm Fish Pound Auburn*. University Agriculture Experiments Station, Alabama.
- Fardiaz, U. 1993. *Polusi Air dan Udara*. Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Forstner, U. 1998. *Metal Concentration in River, Lake and Ocean Water*. Alabama Press. Alabam.
- Forteath, N. 1994. *Hand Book on Recirculation System For Aquatik Organism*. National Key Center For Teaching and Research in Aquaculture, Hobart.
- Hutagalung, H.P. 1994. *Mengenal AAS (Atomic Adsorption Spectrophotometer)*. Pewarta Oseana, Jakarta.
- Murphy, C.B. Jr.; Spiegel, S.J. 1995. "Bioaccumulation and Toxicity of heavy metal and related trace element". *Journal Water Pollution Control Federation*. Vol. 55 (6), pp. 816 – 822.
- Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta, Jakarta.
- Razak, H. 1997. *Pengaruh Logam Berat Terhadap Lingkungan*. Pewarta Oseana, Jakarta.
- Razak, H. 1998. *Petunjuk Cara Pengambilan Contoh dan Metode Analisa Logam Berat*. LON-LIPI, Jakarta.
- Sachari. 2011. Desain Alat Pengolah Limbah Perkotaan Sistim Terpadu dengan Bahan Zeolit. *Majalah Pertambangan dan Energi No. 2/XX/2011*. Jakarta.
- Saeni, M.S. 1997. *Penentuan Tingkat Pencemaran Logam Berat dengan Analisa Rambut*. Orasi Ilmiah, Guru Besar Tetap Ilmu Kimia Lingkungan FMIPA. IPB, Bogor.
- Siddik. 1992. *Bunga Rampai: Bahan Galian dan Air Bawah Tanah*. Kanwil Departemen Pertambangan dan Energi, Provinsi Sumatra Utara, Medan.
- Sudjana, S.H. 1994. *Desain dan Analisa Eksperimen*. Edisi III. Bandung: Tarsito.
- Suyartono; Husaini. 1992. Kegiatan Litbang Zeolit Indonesia Periode 1980-1981. *Majalah Pertambangan dan Energi No. 5/thn XVII/1992*. Jakarta.
- Suhala, S.; Arifin, M. 1997. *Bahan Galian Industri*. Pusat Pertambangan Teknologi dan Mineral, Bandung.
- Supranto, J. 2004. *Statistik Industri Dasar*. Jakarta: Tarsito.
- Thoha, S. 1991. *Pencemaran Laut dan Dampaknya Bagi Lingkungan*. Jakarta: Amerta 2.
- Wardhana, W.A. 1999. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta: Penerbit Andi Offset.
- Wayan, K. 2003. *Statistik Industri Lanjut*. Jakarta: Penerbit Press UI.