

# KINETIKA REAKSI KHROM DAN KAPUR PADAM PADA PENGOLAHAN LIMBAH PENYAMAKAN KULIT SECARA *BATCH*

Maryudi, Anwaruddin Hisyam  
Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Ahmad Dahlan  
Jl Prof Supomo, Janturan, Yogyakarta 55141, Indonesia  
e-mail : myudi74@gmail.com

## Abstrak

*Kulit merupakan bahan baku untuk produk-produk kerajinan. Sebelum digunakan, kulit melalui proses penyamakan. Sebagian besar industri penyamakan kulit menggunakan khrom sebagai bahan penyamak. Untuk limbah penyamakan kulit yang mengandung khrom, kadar maksimum yang diperbolehkan sebesar 2,0 mg/L. limbah yang dihasilkan perlu ditangani agar tidak menimbulkan masalah lingkungan. Pemungutan khrom dari limbah cair penyamakan kulit dapat dilakukan dengan mereaksikan dengan kapur padam. Namun kondisi dan kinetika reaksinya belum diketahui secara baik, khususnya reaksi dalam reaktor batch, sehingga perlu dipelajari. Reaksi pemungutan khrom dengan kapur padam dapat dilakukan dalam reaktor slurry tangki berpengaduk secara batch. Mula-mula limbah penyamakan kulit dimasukkan kedalam reaktor kemudian diaduk dengan kecepatan tertentu pada suhu kamar. Pada kondisi reaktor telah tercapai kemudian dimasukkan kapur padam. Cuplikan diambil setiap selang waktu 3 menit selama 24 menit. Analisis konsentrasi khrom yang tertinggal dijalankan dengan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). Variable yang dipelajari adalah variasi kecepatan pengaduk pada kisaran 140-200 rpm, suhu 30 –60 °C, dan perbandingan mol kapur padam dengan mol khrom 1 – 3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaksi antara kapur padam dengan khrom secara keseluruhan dikendalikan oleh perpindahan massa pada lapisan film cair dan lapisan hasil. Pada suhu 30 – 60 °C, konstanta kecepatan reaksi mengikuti persamaan Arrhenius. Kenaikan suhu pada rentang tersebut tidak berpengaruh besar pada nilai difusivitas pada lapisan hasil. Perbandingan mol kapur padam dengan khrom tidak mempengaruhi konstanta perpindahan massa pada lapisan film cair, difusivitas pada lapisan hasil maupun konstanta kecepatan reaksi.*

Kata kunci: limbah, penyamakan, kulit, khrom, kapur padam, kinetika, reaksi

## I. Pendahuluan

Industri kulit menunjukkan perkembangan yang cukup baik. Namun perkembangan tersebut juga diikuti dengan peningkatan resiko dengan meningkatnya jumlah limbah dari proses penyamakan. Industri penyamakan kulit mengolah kulit mentah (*hides atau skins*) menjadi kulit tersamak (*leather*) dengan bahan penyamak. Proses-proses dalam penyamakan kulit menghasilkan limbah cair yang berasal dari larutan yang digunakan oleh unit pemrosesan itu sendiri.

Ditinjau dari bahan penyamak yang dipakai, maka ada beberapa macam penyamakan, yaitu 1) penyamakan nabati, 2) penyamakan mineral, dan 3) penyamakan minyak. Bahan penyamak khrom banyak digunakan dalam penyamakan dengan bahan penyamak mineral [1].

Cairan penyamakan khrom mengandung khrom trivalen dengan kadar tinggi [2]. Kandungan khromium dalam air bekas penyamakan (*tanning*) khrom berkisar 1500-5000 mg/L [3].

Pengolahan limbah penyamakan kulit dengan kapur padam secara sinambung telah dilakukan sebelumnya dengan reaktor kolom tegak dengan pengadukan udara [4]. Namun

proses pengolahan limbah dengan reaktor tegak tersebut sulit untuk dikendalikan dan dijaga stabilitasnya. Reaksi secara *batch* lebih mudah dilakukan dan dikendalikan. Oleh karena itu studi tentang pemungutan khrom dari limbah penyamakan kulit dilakukan. Selain itu model kinetika reaksi secara batch untuk pemungutan khrom dalam limbah penyamakan kulit juga belum dikembangkan.

## II. Tinjauan Pustaka

Penyamakan merupakan proses utama yang melindungi kulit dari pengaruh lingkungan seperti degradasi mikrobial, panas, keringat, atau kelembaban dan lainnya [5]. Ketika proses penyamakan terjadi, jumlah limbah atau hasil samping yang dihasilkan lebih banyak dibanding kulit tersamak yang diperoleh. Satu ton kulit basah akan menghasilkan 200 kg kulit tersamak dan lebih dari 600 kg limbah padat ataupun produk samping [6].

Pada penggunaan khrom dalam penyamakan kulit, hanya 60% khrom yang bereaksi dengan kulit dan sisanya tertinggal sebagai limbah padat ataupun dalam larutan sisa penyamakan. Khrom dalam bentuk Cr(III) paling banyak dipakai di antara bahan penyamak berbasis mineral lainnya karena sifat yang bagus dari senyawa khrom dalam penyamakan [7].

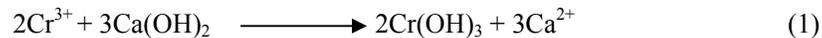
Logam khrom bereaksi dengan asam, membebaskan gas hidrogen dan menghasilkan larutan khrom (II) atau ion khromous yang berwarna biru terang,  $\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$  (aq). Ion khrom (II) mudah teroksidasi oleh  $\text{O}_2$  menjadi ion khrom(III). Keadaan khrom teroksidasi yang paling stabil adalah +3 [8]. Khrom pada keadaan teroksidasi khrom (VI) sangat beracun dan mungkin mengakibatkan kanker. Bentuk khromium yang seperti ini merupakan zat pengoksidasi yang kuat dan tereduksi dengan cepat oleh bahan-bahan organik pada umumnya menjadi khrom (III) [9].

Ion khrom.(III) mengendap sebagai khrom.(III) hidroksid dengan penambahan basa ke dalam larutan [8]. Penelitian yang dilakukan oleh LP3L [3] menunjukkan bahwa pengendapan khrom dari limbah penyamakan kulit dengan kadar khrom 3,3 g/L menggunakan larutan NaOH dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  10% diperoleh kadar khrom dalam air buangan sebesar 0,7422 mg/L.

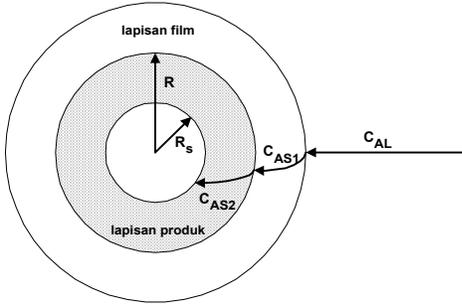
Nilson [10] melakukan penanganan air limbah dengan aluminium sulfat dan kapur padam untuk mereduksi Pb(II), Cu(II), Cr(III), Hg(II), Cd(II) dan As(V) ke tingkat rendah dengan kedua pengendap. Kapur padam dapat dibuat dengan kalsinasi batu kapur ( $\text{CaCO}_3$ ) dan dilanjutkan dengan hidrasi [11].

Reaksi antara kapur padam dengan khrom (III) dalam limbah penyamakan kulit merupakan reaksi heterogen padat-cair. Menurut Smith [12], pada reaksi non katalitis antara padatan dan fluida, reaksi pada permukaan padatan terjadi dengan adsorpsi reaktan fluida ke permukaan, lalu diikuti dengan reaksi permukaan yang melibatkan molekul teradsorpsi.

Reaksi antara ion khrom (III) dengan padatan kapur padam mengikuti persamaan :



Reaksi antara ion khrom (III) dan padatan kapur padam terjadi mengikuti langkah-langkah seperti tergambar dalam Gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme perpindahan massa  $\text{Cr}^{+3}$  ke kapur padam

Langkah pertama perpindahan massa zat pereaksi dari larutan ke lapisan cair antara larutan dan lapisan  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ , dilanjutkan perpindahan massa zat pereaksi dari permukaan luar lapisan padat  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  ke permukaan butir padatan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Terakhir reaksi pada permukaan butir padatan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Semua langkah tersebut dituliskan dalam persamaan (2-4).

$$(-r'_A) = 4\pi R^2 k_L [C_{AL} - C_{AS1}] \quad (2)$$

$$(-r'_A) = 4\pi R_S^2 D_e \left( \frac{dC_A}{dr} \right)_{r=R_S} \quad (3)$$

$$(-r'_A) = 4\pi R_S^2 k_R C_{AS2} \quad (4)$$

Gradien konsentrasi pada  $r = R_S$  dicari dengan membuat elemen volum pada lapisan hasil

$$-\left( \pi r^2 D_e \frac{dC_A}{dr} \right)_r + \left( \pi r^2 D_e \frac{dC_A}{dr} \right)_{r+\Delta r} = 0 \quad (5)$$

Limit  $\Delta r \rightarrow 0$  menghasilkan persamaan

$$\frac{d}{dr} \left( r^2 D_e \frac{dC_A}{dr} \right) = 0 \quad (6)$$

Integrasi dengan kondisi batas : (1)  $C_A = C_{AS1}$  pada  $r = R$  dan (2)  $C_A = C_{AS2}$  pada  $r = R_S$ , diperoleh

$$C_A - C_{AS2} = (C_{AS1} - C_{AS2}) \frac{1 - R_S/r}{1 - R_S/R} \quad (7)$$

sehingga diperoleh gradien konsentrasi [12]:

$$\left( \frac{dC_A}{dr} \right)_{r=R_S} = \frac{(C_{AS1} - C_{AS2})}{R_S \left( 1 - \frac{R_S}{R} \right)} \quad (8)$$

Dengan substitusi persamaan (8) ke persamaan (3) diperoleh :

$$(-r'_A) = 4\pi R_S D_e \frac{(C_{AS1} - C_{AS2})}{(1 - R_S/R)} \quad (9)$$

Penggabungan persamaan (2), (4) dan (9) diperoleh :

$$(-r'_A) = \frac{4\pi C_{AL}}{\left( \frac{1}{R^2 k_L} + \frac{\left(1 - \frac{R_S}{R}\right)}{D_e R_S} + \frac{1}{R_S^2 k_R} \right)} \quad (10)$$

Persamaan (10) menyatakan laju reaksi untuk satu butir. Untuk mendapatkan persamaan laju reaksi keseluruhan, maka persamaan (10) harus dikalikan dengan jumlah butir.

$$(-r_A) = N_{rt} \cdot (-r'_A) \quad (11)$$

Neraca massa pada elemen volum untuk khrom(III):

*Rate of input – rate of output – rate of reaction = rate of accumulation*

$$0 - 0 - (-r_A) \cdot N_{rt} = \frac{d}{dt}(C_{AL} \cdot V) \quad (12)$$

Substitusi persamaan (10) dan (11) ke persamaan (12) diperoleh:

$$- \frac{dC_{AL}}{dt} = \frac{N_{rt} C_{AL}}{\left( \frac{1}{4\pi R^2 k_L} + \frac{\left(1 - \frac{R_S}{R}\right)}{4\pi D_e R_S} + \frac{1}{4\pi R_S^2 k_R} \right)} \quad (13)$$

Neraca massa untuk butiran  $\text{Ca(OH)}_2$  pada elemen volume analog dengan neraca massa khrom (III) sehingga diperoleh:

$$- \frac{dC_B}{dt} = (-r_B) \quad (14)$$

$C_B$  dihitung :

$$C_B = N_{rt} \frac{\rho_B}{M_B} V_B \quad (15)$$

$$V_B = \frac{4}{3} \pi R_S^3 \quad (16)$$

Sehingga persamaan (14) menjadi :

$$(-r_B) = - \frac{d \left( N_{ri} \frac{\rho_B}{M_B} \frac{4}{3} \pi R_S^3 \right)}{dt} \quad (17)$$

$$(-r_B) = -N_{ri} \frac{\rho_B}{M_B} 4\pi R_S^2 \frac{dR_S}{dt} \quad (18)$$

Berdasarkan persamaan (1) hubungan antara laju berkurangnya A dan laju berkurangnya B adalah :

$$(-r_A) = \frac{2}{3}(-r_B) \quad (19)$$

Dengan menggabungkan persamaan (13), (18) dan (19) diperoleh persamaan :

$$\frac{dR_S}{dt} = - \frac{C_{AL}}{\frac{2}{3} \frac{\rho_B}{M_B} R_S^2 V \left( \frac{1}{R^2 k_L} + \frac{\left(1 - \frac{R_S}{R}\right)}{D_e R_S} + \frac{1}{R_S^2 k_R} \right)} \quad (20)$$

Nilai  $k_R$ ,  $k_L$  dan  $D_e$  dicari dengan minimasi *sum of square of error (SSE)* tiga variabel dengan Metode Hooke-Jeeves, menggunakan persamaan (13) dan (20) yang diselesaikan dengan Metode Runge-Kuta

$$SSE = \sum_{i=1}^n (C_{AL \text{ terhitung}} - C_{AL \text{ data}})^2 \quad (21)$$

### III. Metodologi

**Bahan:** Bahan yang dipakai adalah kapur padam dan limbah penyamakan kulit. Kapur padam yang memiliki rapat curah 2.1 g/mL, diameter butir rata-rata 0,0181 cm, kadar air 3,75 %, kadar CaO aktif 66,8754 % dan kadar CaO total 70,1561 %. Limbah penyamakan kulit diperoleh dari Laboratorium Pengembangan Penyamakan Kulit dan Unit Pengolahan Air Limbah, Sitimulyo, Piyungan, Bantul. Limbah penyamakan kulit memiliki pH 4, kandungan padatan tersuspensi 0,64 g/L, rapat massa 1,0591 g/mL, kadar khrom (III) 2500 ppm, dan kandungan sulfat 7,9255g/L.

**Alat :** Reaksi dilakukan dalam reaktor tangki berpengaduk yang mempunyai diameter dalam 16 cm yang dilengkapi dengan baffle sebanyak tiga buah dengan lebar 1,25 cm. impeller pengaduk berukuran 5 cm, dengan jumlah blade empat buah.

**Cara Penelitian:** limbah penyamakan kulit sebanyak 1 liter dimasukan ke dalam reaktor. Kemudian diaduk sampai kecepatan tertentu pada suhu kamar. Pada kondisi reaktor telah tercapai kemudian dimasukan kapur padam dengan jumlah tertentu. Setiap selang waktu tertentu diambil sejumlah cuplikan (larutan) untuk dianalisis kadar khrom dengan *Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) Analyzer*. Percobaan diulangi untuk berbagai kondisi. Data dikumpulkan dalam bentuk konsentrasi khrom (III) yang belum beraksi ( $C_{AL}$ ) sebagai fungsi waktu.

#### IV. Hasil dan Pembahasan

Reaksi antara kapur padam dan khrom dilakukan dalam tangki berpengaduk secara batch. Volume cairan dalam tangki sebesar 1 L. Ukuran butiran kapur padam lolos ayakan 40 mesh. Konsentrasi awal khrom dalam limbah sebesar 2500 ppm atau 0.0480770 mol/L. Data yang dikumpulkan diambil pada selang waktu setiap 3 menit selama 24 menit.

Variabel-variabel yang dipelajari adalah kecepatan pengaduk 140 - 200 rpm, suhu 30 – 60 °C, dan perbandingan pereaksi yaitu mol kapur padam dengan mol khrom 1 – 3. Selama melakukan variasi terhadap suatu variabel, variabel yang lain dijaga tetap.

##### Pengaruh Pengadukan

Pengaruh kecepatan pengaduk dipelajari pada kisaran 140 rpm – 200 rpm, sedangkan variabel yang lain yaitu : suhu dan perbandingan pereaksi dibuat tetap. Perubahan  $C_{AL}$  untuk setiap waktu pada berbagai kecepatan pengaduk dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Konsentrasi khrom yang belum bereaksi ( $C_{AL}$ ), mol/L pada berbagai waktu pada berbagai kecepatan pengaduk, perbandingan pereaksi 1: 1, suhu 30 °C.

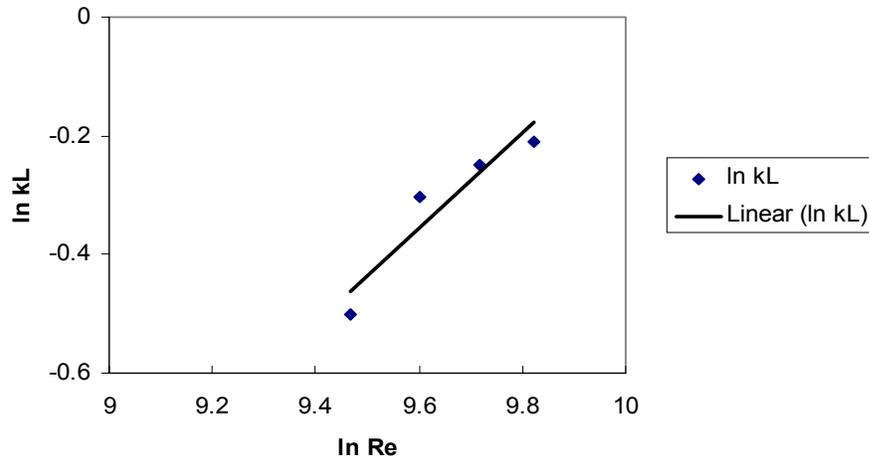
Waktu menit	Konsentrasi Khrom ( $C_{AL}$ ), mol/L			
	140 rpm	160 rpm	180 rpm	200 rpm
0	0.0480770	0.0480770	0.0480770	0.0480770
3	0.0410235	0.0370396	0.0336675	0.0300185
6	0.0360681	0.0352885	0.0301968	0.0282193
9	0.0345098	0.0299838	0.0284975	0.0251994
12	0.0339141	0.0291879	0.0247491	0.0229187
15	0.0336341	0.0261886	0.0222120	0.0201188
18	0.0322651	0.0249848	0.0249710	0.0196890
21	0.0231578	0.0185572	0.0147029	0.0120918
24	0.0197843	0.0147183	0.0095988	0.0095968

Tabel 1 menunjukkan bahwa konsentrasi khrom yang tertinggal dalam larutan semakin kecil, sebab kesempatan molekul-molekul pereaksi untuk saling bertumbukan makin besar. Semakin besar kecepatan pengaduk, semakin cepat penurunan konsentrasi khrom dalam larutan, karena gerakan molekul-molekul pereaksi semakin meningkat sehingga frekuensi tumbukan bertambah dan pereaksi makin banyak bereaksi. Secara umum pengadukan hanya berhubungan dengan transfer massa pada lapisan film cair, dan tidak mempengaruhi konstanta kecepatan reaksi maupun difusivitas.

Dari perhitungan numerik diperoleh konstante  $k_R$ ,  $D_e$ , dan  $k_L$  pada berbagai kecepatan pengadukan yang terlihat pada Tabel 2. Dari perhitungan numerik di atas disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara  $k_L$  dan  $Re$  seperti tertera pada Gambar 2. Bilangan Reynold ( $Re$ ) digunakan untuk memberikan gambaran umum kondisi aliran fluida dalam reaktor.

Tabel 2. Nilai  $k_R$ ,  $k_L$ , dan  $De$  hasil perhitungan pada berbagai kecepatan pengaduk

Kecepatan pengaduk rpm	Re	$k_R$ cm / menit	$k_L$ cm / menit	De cm <sup>2</sup> / menit
140	12932.79	1.028001	0.6060005	0.0609
160	14780.33	1.100733	0.7392451	0.06341
180	16627.87	1.006539	0.7803621	0.05834
200	18475.41	1.201127	0.8115638	0.07616



Gambar 2. Hubungan  $k_L$  dengan bilangan Reynold (Re)

Hubungan antara konstanta transfer massa ( $k_L$ ) dengan kecepatan pengaduk dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\ln k_L = 0,7973 \ln R_e - 8,0108 \quad (22)$$

atau

$$k_L = 3,32 \cdot 10^{-4} R_e^{0,7973} \quad (23)$$

Bilangan Reynold (Re) sebanding dengan kecepatan pengaduk (N), karena viskositas cairan, massa jenis cairan tetap, jika suhu konstan. Indeks Reynold pada persamaan (23) nilainya 0,7973. Menurut Johnstone dan Thring [13], bila nilai indeks Reynold 0,5 - 0,8 maka reaksi dikendalikan oleh perpindahan massa.

Dengan penambahan kecepatan pengadukan akan mempengaruhi nilai konstanta perpindahan massa ( $k_L$ ), sehingga semakin tinggi kecepatan pengadukan semakin besar kecepatan reaksi secara keseluruhan. Pengadukan yang tinggi memberikan pergerakan cairan dalam reaktor semakin tinggi, sehingga mampu meningkatkan kecepatan transfer massa.

### Pengaruh Suhu Reaksi

Pengaruh suhu reaksi terhadap konsentrasi akhir khrom, dipelajari pada kisaran 30-60 °C, kecepatan pengaduk 140 rpm dan perbandingan mol kapur padam - khrom 1: 1. Konsentrasi khrom dalam limbah cair disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Konsentrasi khrom yang belum bereaksi ( $C_{AL}$ ), mol/L pada berbagai waktu pada berbagai suhu reaksi, kecepatan pengaduk 140 rpm, perbandingan pereaksi 1: 1.

Waktu menit	Konsentrasi Khrom ( $C_{AL}$ ), mol/L			
	30 Celcius	40 Celcius	50 Celcius	60 Celcius
0	0.0480770	0.0480770	0.0480770	0.0480770
3	0.0410235	0.0388689	0.0365577	0.0319275
6	0.0360681	0.0341333	0.0327788	0.0306825
9	0.0345098	0.0329712	0.0320385	0.0256835
12	0.0339141	0.0328903	0.0321635	0.0254796
15	0.0336341	0.0320979	0.0319712	0.0239532
18	0.0322651	0.0299057	0.0296154	0.0182946
21	0.0231578	0.0251933	0.0133462	0.0085982
24	0.0197843	0.0171968	0.0133462	0.0079939

Konstanta kecepatan reaksi meningkat dengan naiknya suhu seperti terlihat pada Tabel 4 dan gambar 4. Hubungan antara  $k_R$  dengan suhu (Kelvin) dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\ln k_R = - \frac{1571,4}{T} + 5,1254 \quad (24)$$

atau :

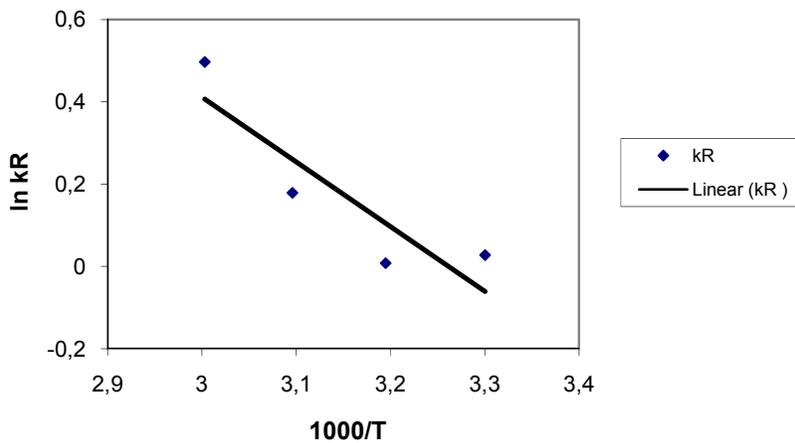
$$k_R = 168,2414 e^{-\frac{3122,3718}{RT}} \quad (25)$$

T dalam Kelvin.

Pengaruh suhu terhadap konstante kecepatan reaksi mengikuti persamaan Arrhenius dengan nilai faktor frekuensi ( $A$ ) sebesar 168,2414 cm/menit dan tenaga pengaktif sebesar 3122,3718 cal/mol.

Tabel 4. Nilai  $k_R$ ,  $k_L$ , dan  $De$  hasil perhitungan pada berbagai suhu reaksi

Suhu		$k_R$ cm/menit	$k_L$ cm/menit	$De$ cm <sup>2</sup> /menit
Celcius	Kelvin			
30	303	1.028001	0.6060005	0.0609
40	313	1.008005	0.7060007	0.0735
50	323	1.196001	0.7580008	0.0897
60	333	1.644002	1.2909600	0.1233

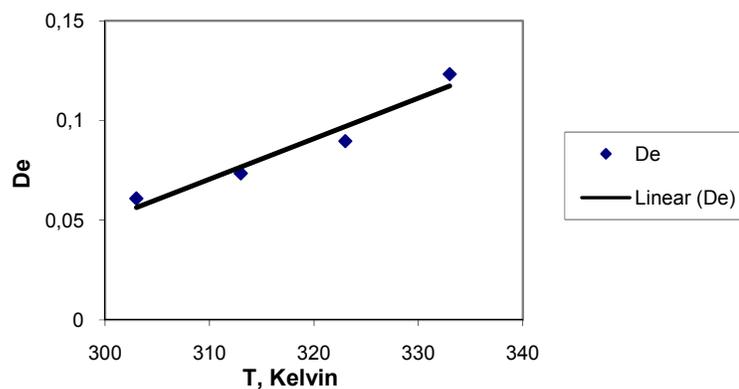


Gambar 4. Hubungan  $k_R$  dengan  $T$

Menurut Westerterp et al. [14] pada suhu lingkungan, kenaikan suhu  $10\text{ }^\circ\text{C}$  dapat meningkatkan konstante kecepatan reaksi 2-50 kali lipat, dan 1,1-1,6 kali lipat pada suhu  $600\text{ }^\circ\text{C}$ . Menurut Johnstone dan Thring [13], bila kenaikan suhu  $10\text{ }^\circ\text{C}$  menyebabkan kenaikan nilai  $k_R$  kurang dari 2 kali, maka perpindahan massa yang mengendalikan reaksi dan berlaku regim dinamis. Tabel 4 menunjukkan bahwa kenaikan suhu  $10\text{ }^\circ\text{C}$  hanya memberikan peningkatan nilai  $k_R$  sebesar 1,1 – 1,37. Baik ditinjau dari pengaruh pengadukan maupun suhu, diperoleh hasil bahwa perpindahan massa merupakan langkah yang lebih mengontrol.

Menurut Widodo [15], pengaruh suhu terhadap difusivitas dapat didekati dengan persamaan linier. Hubungan antara  $De$  dengan  $T$  (Gambar 5) dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$De = 0,002 T - 0,56 \quad (26)$$



Gambar 5. Hubungan  $De$  dengan  $T$

Difusivitas pada lapisan hasil ternyata tidak mengalami perubahan yang besar oleh adanya peningkatan suhu. Kalau dilihat difusivitas pada lapisan hasil, nilainya cukup kecil dengan orde  $10^{-2}$  cm<sup>2</sup>/menit atau  $10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s, sehingga proses perpindahan massa pada lapisan hasil akan ikut menentukan jalannya reaksi secara keseluruhan.

### Pengaruh Perbandingan Perekasi

Pengaruh perbandingan mol khrom dan kapur padam-khrom dipelajari pada nilai 1: 1 (8,94 gram kapur padam), 1 : 2 (17,88 gram kapur padam), dan 1 : 3 (26,82 gram kapur padam), sedangkan variabel yang lain tetap yaitu : suhu, kecepatan pengaduk. Pengaruh perbandingan pereaksi terhadap konsentrasi khrom yang tertinggal dapat dilihat pada Tabel 5. Tabel 5 menunjukkan bahwa konsetrasi khrom yang tersisa semakin kecil dengan semakin besarnya perbandingan pereaksi yang digunakan, sebab jumlah butir kapur padam yang berinteraksi dengan khrom semakin banyak.

Tabel 5. Konsentrasi khrom yang belum bereaksi ( $C_{AL}$ ), mol/L pada berbagai waktu pada berbagai perbandingan pereaksi (mol kapur padam dengan mol khrom), suhu 30 °C, kecepatan pengaduk 140 rpm.

Waktu menit	Konsentrasi Khrom ( $C_{AL}$ ), mol/L		
	1 : 1	2 : 1	3 : 1
0	0.0480770	0.0480770	0.0480770
3	0.0410235	0.0309130	0.0198928
6	0.0360681	0.0242108	0.0173859
9	0.0345098	0.0240118	0.0170265
12	0.0339141	0.0209273	0.0153599
15	0.0336341	0.0191736	0.0149092
18	0.0322651	0.0155752	0.0141922
21	0.0231578	0.0141017	0.0121310
24	0.0197843	0.0139103	0.0120115

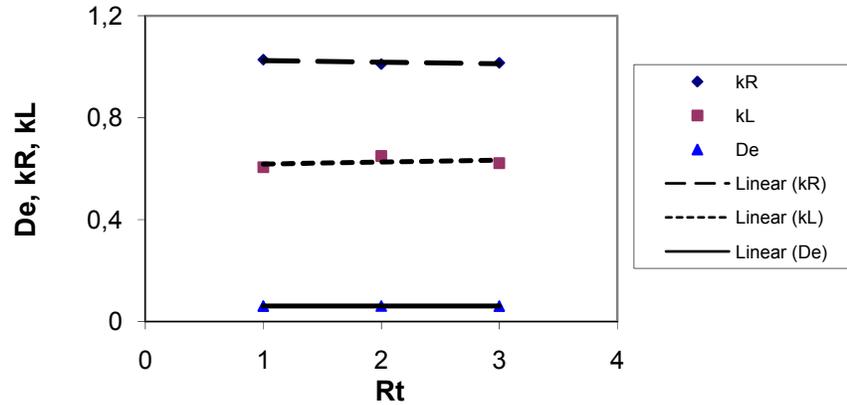
Dari perhitungan numerik diperoleh konstanta  $k_R$ ,  $D_e$  dan  $k_L$  yang dapat dilihat pada Tabel 6. Peningkatan perbandingan pereaksi hanya berpengaruh pada jumlah butir kapur padam yang bereaksi, tetapi tidak berpengaruh pada konstanta-konstanta perpindahan massa, difusivitas pada lapisan hasil serta konstante kecepatan reaksi. Hubungan antara variasi pereaksi dan  $k_R$ ,  $k_L$ , serta  $D_e$  disajikan dalam Gambar 6.

Tabel 6. Nilai  $k_R$ ,  $k_L$ , dan  $D_e$  hasil perhitungan pada berbagai perbandingan pereaksi

Perbandingan mol pereaksi mol kapur : mol khrom	$k_R$ cm / menit	$k_L$ cm / menit	$D_e$ cm <sup>2</sup> / menit
1 : 1	1.028001	0.6060005	0.0609
2 : 1	1.010642	0.6502052	0.0611
3 : 1	1.015536	0.6218125	0.0606

Tabel 5 menunjukkan bahwa perbandingan pereaksi yang semakin besar mengakibatkan konsentrasi khrom yang tersisa semakin kecil, sebab jumlah butir kapur padam yang berinteraksi dengan ion khrom semakin banyak. Tetapi, kalau dilihat Tabel 6 dan Gambar 6, maka tampak bahwa konstante kecepatan reaksi, konstante perpindahan massa, serta difusivitas tidak besar perubahannya meskipun perbandingan pereaksi meningkat. Peningkatan perbandingan pereaksi hanya meningkatkan konversi terhadap

khrom, tetapi tidak berpengaruh pada konstante-konstante perpindahan massa pada lapisan film cair, difusivitas pada lapisan hasil, dan konstante kecepatan reaksi.



Gambar 6. Hubungan  $k_R$ ,  $D_e$  dan  $k_L$  dengan perbandingan pereaksi ( $R_t$ )

## V. Kesimpulan

Khrom dalam hal ini ion khrom (III) dalam limbah penyamakan kulit dapat dipungut dengan kapur padam. Reaksi antara kapur padam dengan khrom (III) berlangsung secara heterogen, yang dikendalikan oleh perpindahan massa pada lapisan hasil dan perpindahan massa pada film cair. Perbandingan mol pereaksi tidak berpengaruh terhadap konstanta perpindahan massa maupun konstanta kecepatan reaksi, untuk perbandingan mol kapur padam dengan mol khrom 1–3.

## VI. Daftar Pustaka

- [1] Bapedal, 1995, "Teknologi Pengendalian Dampak Lingkungan Industri Penyamakan Kulit", Badan Pengendalian Dampak Lingkungan, Jakarta.
- [2] Kartikasari, S.N. dan Widyantoro, A., 1994, "Limbah Cair Berbagai Industri di Indonesia", Kementrian Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia, Jakarta
- [3] LP3L (Laboratorium Pengembangan Proses Pengolahan Limbah), 2000, "Penerapan tentang Recovery dan Reuse Khrom dalam Air Limbah Penyamakan Kulit di Industri Penyamakan Kulit DIY", Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Kulit, Karet dan Plastik, Yogyakarta.
- [4] Maryudi, Ida Bagus Agra, Harry Sulisty, 2003, Pemungutan khrom dari limbah penyamakan kulit dengan kapur padam secara sinambung ditinjau dari segi kinetika, *Teknosains* 16B: 331-346.
- [5] Erdem, M., 2006, Chromium recovery from chrome shaving generated in tanning process, *Journal of Hazardous Materials* B129:143-146
- [6] Cabeza, L.F., Taylor, M.M., DiMaio, Brown, E.M., Marmer, W.N., Carrio, R., Celma, P.J., and Cot, J., 1998, Processing of leather waste: pilot scale studies on chrome shavings.

---

Isolation of potentially valuable protein products and chromium, *Waste Manage.* 18 :211–218

- [7] Fabiani, C., Ruscio, F., Spadoni, M., and Pizzichini, M., 1996, Cr(III) slats recovery process from tannery wastewaters, *Desalination*, 108 :183–191.
- [8] Ebbing, D.D., 1984, “General Chemistry”, pp.849-850, Houghton-Mifflin Company, Boston
- [9] Bailey, R.A., Clark, H.M., Ferris, J.P., Krause, S., and Strong, R.L., 1978, “Chemistry of Environment”, p.389, Academic Press, Inc., New York
- [10] Forsner, U. and Wittmann, G.T.W., 1981, “Metal Pollution in the Aquatic Environment”, p.334, Springer-Verlag, Heidelberg.
- [11] Austin, R., 1984, “Shreve’s Chemical Process Industries”, 5 ed., pp. 182-183 McGraw-Hill Book Company, Inc., New York
- [12] Smith, J.M., 1981, “Chemical Engineering Kinetics”, 3 ed., pp.642-644, McGraw-Hill International Book Company, Singapore
- [13] Johnstone, R.E. and Thring, M.W., 1957, Pilot Plant, Models, and Scale-up Methods in Chemical Engineering, pp.67-71, McGraw Hill Book Company Inc., New York
- [14] Westerterp, K.R., Van Swaaij, W.P.M., and Beenackers, 1984, Chemical Reactor Design and Operation, pp. 16-18, John Wiley & Sons, New York
- [15] Widodo, A.T.K., 1990, Sifat Gas dan Zat Cair, edisi 3, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta