

Menentukan Koefisien Transfer Massa dan Diffusivitas Efektif dari Proses Dekolorisasi Zat Warna

Primata Mardina¹

Abstract—Dyes are used in various sectors like textile, paper and dyeing industries which discharge waste colored dye liquid. Solid-liquid adsorption principal has been used to decolorize it. The experiment has used granular activated carbon as adsorbent. The experiment's purpose is determining mass transfer coefficient (Kc) and effective diffusivity (De) as adsorption equipment design parameter.

The dye adsorption follows the Langmuir equilibrium equation. The effects of system variables are initial concentration and impeller rotated velocity. The value of Kc of dye at 100 ppm, 80 ppm, 60 ppm, 40 ppm and 20 ppm were found to be 5.209×10^{-4} g/cm²/minute, 5.17×10^{-4} g/cm²/minute, 5.151×10^{-4} g/cm²/minute, 5.163×10^{-4} g/cm²/minute and 5.85×10^{-4} g/cm²/minute. The value of De at 100 ppm, 80 ppm, 60 ppm, 40 ppm and 20 ppm were found to be 3.249×10^{-4} cm²/minute, 3.127×10^{-4} cm²/minute, 3.107×10^{-4} cm²/minute, 3.004×10^{-4} cm²/minute and 3.524×10^{-4} cm²/minute. The value of Kc of dye at 400 rpm, 500 rpm and 600 rpm were found to be 5.999×10^{-4} g/cm²/minute, 5.85×10^{-4} g/cm²/minute and 8.369×10^{-4} g/cm²/minute. The value of De at 400 rpm, 500 rpm and 600 rpm were found to be 3.978×10^{-4} cm²/minute, 3.524×10^{-4} cm²/minute and 3.995×10^{-4} cm²/minute. The experiment result is approximated with mathematical equation

$$\left(\frac{K_c \cdot d}{\rho \cdot Dm}\right) = 0,0072 \left(\frac{d^2 N \rho}{\mu}\right)^{0,7868} \quad \left(\frac{K_c \cdot d}{\rho \cdot Dm}\right) = 0,0072 \left(\frac{d^2 N \rho}{\mu}\right)^{0,7868}$$

This equation prevails in Reynolds Number 3000 until 5600 with average relative error 9.3114 %.

Keyword: Waste, textile industry, dye, activated carbon, adsorption, mass transfer coefficient, effective diffusivity.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dalam bidang ilmu teknik kimia, peristiwa perpindahan massa merupakan salah satu masalah yang termasuk dalam persoalan *rate processes* di dalam *Chemical Engineering Tools*. Peristiwa adsorpsi adalah salah satu contohnya. Adsorpsi merupakan suatu operasi yang berkaitan dengan fenomena perpindahan massa antara fluida (gas atau cairan) dan permukaan aktif padatan. Industri Kimia banyak memanfaatkan proses adsorpsi, baik untuk proses utama maupun proses pengolahan limbah hasil produksinya. Proses adsorpsi ini biasanya terjadi antara fase cair dengan fase padatan maupun antara fase gas dengan padatan. Antara fase cair dengan padatan, misalnya dekolourisasi minyak, lemak, larutan gula dan zat warna, pengurangan produk makanan dan obat-obatan, *recovery* bahan-bahan kimia biologis dari proses fermentasi. Sedang antara fase gas dengan padatan misalnya untuk pengeringan gas, pembersihan gas dari gas – gas beracun, fraksinasi gas.

Industri tekstil adalah salah satu jenis industri yang sedang berkembang pesat di Indonesia. Untuk menghasilkan tekstil yang berkualitas bagus dan laku di pasaran, tekstil tersebut harus dibuat semenarik mungkin, salah satunya adalah teknik pewarnaan. Kegiatan pewarnaan ini menghasilkan limbah berupa cairan pencuci yang berwarna, jika langsung dibuang kemungkinan akan terjadi pencemaran oleh warna dari cairan pencuci tersebut. Pada percobaan ini akan digunakan prinsip adsorpsi padat-cair untuk mengurangi atau menghilangkan warna dari limbah cairan pencuci tersebut agar aman untuk dibuang ke lingkungan terutama sungai. Sebagai penjerap atau adsorbent digunakan karbon aktif jenis *Granular Activated Carbon*.

Larutan zat warna yang digunakan adalah larutan zat warna Dylon. Zat warna Dylon banyak digunakan sebagai pewarna tekstil karena sangat cocok untuk berbagai jenis kain. Biasanya zat warna yang digunakan untuk pewarna pada industri tekstil konsentrasinya ± 20 ppm, berdasarkan cara penggunaan dari zat warna tersebut, yaitu 45 miligram dalam 2 liter air.

¹ Staf pengajar Fakultas Teknik Unlam Banjarmasin

Dengan demikian, konsentrasi yang digunakan dalam penelitian ini 20 sampai 100 ppm

Penggunaan karbon aktif pada penelitian ini karena alasan karbon aktif merupakan adsorbent yang efektif, mudah didapat, relatif murah dibanding adsorbent lainnya. Sifat fisik dari karbon aktif adalah sebagai berikut berbentuk granular, porositas mencapai 80%, bulk densitas (0,25-0,30) kg/L, *surface area* 800-1800 m²/g, *sorptive capacity* pada saat kering 0,7 kg/kg (Perry, 1997).

Hasil penelitian ini adalah koefisien transfer massa dan diffusivitas efektif, sebagai parameter yang diperlukan dalam perancangan alat-alat adsorpsi skala industri.

Perumusan Masalah

Pada penelitian ini akan dicoba menentukan koefisien transfer massa dan diffusivitas efektif dari proses dekolorisasi zat warna dengan arang aktif pada tangki berimpeller menggunakan pendekatan dengan persamaan matematika :

$$\frac{Kc.d}{\rho.D_L} = A \left[\frac{\rho.N.d^2}{\mu} \right]^B \quad (1)$$

dengan A dan B adalah konstanta empiris.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan koefisien transfer massa dan diffusivitas efektif pada proses dekolorisasi zat warna dengan pendekatan matematika untuk digunakan sebagai parameter dalam perancangan alat adsorpsi.

KAJIAN TEORITIS

Adsorpsi

Adsorpsi atau penyerapan adalah proses akumulasi suatu zat pada bidang batas (*interface*) antara 2 fase. Fase tersebut dapat berupa kombinasi antara cair-cair, cair-padat, gas-cair atau gas-padat. Proses adsorpsi juga dapat didefinisikan sebagai proses penyerapan molekul-molekul fluida oleh padatan akibat pengaruh kekuatan interaksi atau gaya antara fluida dengan padatan. Antara molekul fluida dengan permukaan padatan tidak hanya terjadi adsorpsi tapi juga desorpsi yaitu pelepasan molekul fluida dari permukaan padatan. Hal ini bisa terjadi bila dilakukan pemanasan pada kondisi vakum (Mantell, 1951). Adsorpsi merupakan proses eksotermis. Panas adsorpsi yang dihasilkan

merupakan penurunan panas atau pelepasan energi dalam sistem (Mantell, 1951).

Kesetimbangan proses adsorpsi dipengaruhi oleh jenis *adsorbate* dan *adsorbent*, suhu dan konsentrasi *adsorbate*. Kesetimbangan adsorpsi tidak dipengaruhi oleh ukuran *adsorbent* baik *micropore* maupun *macropore*. Setiap pasangan *adsorbate* dan *adsorbent* mempunyai karakteristik kesetimbangan sendiri yang berbeda dengan pasangan yang lain.

Berdasarkan kekuatan interaksi atau gaya yang menyebabkan terjadinya proses adsorpsi, adsorpsi dibagi menjadi 2 jenis, yaitu:

1. Physical Adsorption (Van der Waals adsorption)

Physical adsorption merupakan adsorpsi yang terjadi karena gaya tarik-menarik antara zat yang teradsorpsi dengan padatan. Jika gaya tarik-menarik antara *adsorbate* dan *adsorbent* lebih besar dibandingkan sesama *adsorbate*, maka *adsorbate* akan terjerap di permukaan padatan. Adsorpsi fisika biasanya terjadi pada suhu dan tekanan rendah. Interaksi adsorpsi ini bersifat reversibel yang memungkinkan terjadinya desorpsi pada suhu yang sama, meskipun proses tersebut lambat karena adanya efek difusi (Treybal, 1981).

Adsorpsi jenis ini lemah, gaya yang menyebabkan terjadinya adsorpsi adalah gaya Van der Waals. Panas adsorpsi yang dihasilkan sekitar 5-10 kkal/mol (Walter, 1945).

2. Chemisorption

Chemisorption merupakan adsorpsi yang terjadi karena adanya reaksi kimia antara padatan dengan *adsorbate*. Adsorpsi ini bersifat irreversibel dan panas yang dihasilkan cukup besar dibanding dengan adsorpsi fisika (Treybal, 1981).

Panas adsorpsi ini sekitar 10-100 kkal/mol. Adsorpsi kimia ini melibatkan transfer elektron dan pembentukan ikatan kimia antara permukaan padatan dengan molekul *adsorbate*, proses ini berlangsung pada suhu tinggi dan terjadinya pengaktifan energi menurut persamaan Arrhenius (Scheiweizer, 1979). Jika penyerapan yang terjadi karena pengaruh gaya intermolekuler antara fluida dan padatan lebih besar dari molekul fluida itu sendiri maka molekul fluida akan terjerap (terakumulasi) di permukaan padatan hingga mencapai kondisi jenuh (Treybal, 1981).

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi fase cair-padat yaitu :

1). Temperatur (Suhu)

Dalam proses adsorpsi dua fase, kondisi suhu cukup berpengaruh dalam system tenaga adsorpsi. Pada temperatur normal, sebaiknya dilakukan dengan tenaga intermolekuler. Tenaga intermolekuler pada proses adsorpsi padat-cair biasanya dilakukan untuk menghilangkan atau memindahkan komponen atau senyawa organik dari *aqueous wastes*, pemurnian warna dari larutan gula dan minyak tumbuhan dan pemisahan air dari *organic liquids*.

2). Faktor Konsentrasi

Pada fase cair, konsentrasi fase menunjukkan perubahan kuantitas unit volume dari cairan atau larutan. Pada *stationary-phase* atau fase padat maka harga konsentrasi fase merupakan perubahan kuantitas akibat transfer massa dari unit fase dalam kondisi tertentu. Hal ini memungkinkan konsentrasi bahan padat lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi bahan cair dan perbedaan konsentrasi bahan padat lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi bahan cair sehingga perbedaan konsentrasinya cukup besar atau *driving force* ini dapat menyebabkan konsentrasi profilnya lambat sedangkan proses transfer massanya berlangsung cepat.

Dalam proses adsorpsi dua fase, dimana fase cair sebagai bahan bergerak dan fase padat sebagai bahan penjerap, maka bila suatu bahan terlarut dalam proses adsorpsi, bahan tersebut akan terdistribusi pada kedua fase dengan perbandingan tertentu. Kadar bahan dalam larutan dan kadar bahan dalam penjerap akan tetap setimbang.

3). Tumbukan antar molekul (Olahan)

Olahan akan memperbanyak frekuensi kontak seluruh cairan dengan padatan. Hal ini penting karena padatan berada di dasar, jika tidak ada olakan maka cairan yang di bagian atas sulit untuk berkontak dengan padatan.

Pada proses adsorpsi terdapat 2 unsur penting, yaitu: mekanisme kesetimbangan dan kinetika. Mekanisme kesetimbangan didasarkan pada kapasitas padatan untuk menyimpan atau menjerap spesies (*adsorbate*) yang berbeda. Mekanisme kinetika didasarkan pada kecepatan penyebaran (difusi) spesies yang berbeda untuk masuk ke pori padatan

Adsorbent

Adsorpsi pada umumnya terjadi antara fase fluida dan fase padat (adsorbent). Syarat terpenting yang harus dimiliki *adsorbent* adalah mempunyai perbandingan luas permukaan aktif tiap satuan massa yang besar dan mempunyai afinitas yang cukup kuat terhadap *adsorbate* di fasa fluida agar kapasitas adsorpsinya besar (Brown, 1950).

Sumber *adsorbent* banyak sekali terdapat di alam maupun sintetik. *Adsorbent* padat mempunyai struktur berupa *amorf* dan *microcrystalline*. *Adsorbent* padat yang berupa *amorf* mempunyai kekuatan menjerap lebih besar dibandingkan dengan bentuk kristalin (Mantell, 1951).

Beberapa jenis *adsorbent* yang sering digunakan dalam proses adsorpsi yaitu :

1). *Activated Carbon* (Arang aktif)

Arang aktif mempunyai struktur yang sangat kompleks dan pada dasarnya tersusun atas struktur yang *amorf* dan struktur *graphite-like microcrystalline*. Bahan pembuat arang aktif biasanya dari bahan alami seperti batu bara, tempurung kelapa, atau kayu. Contoh arang aktif yang terbuat dari batu bara adalah *ajax*. Bahan tersebut dipirolisis pada suhu tinggi dan diaktivasi dengan menggunakan *steam*, CO₂, udara atau campurannya untuk membentuk pori-pori. Metode lain adalah dekomposisi dan *thermal treatment* menggunakan asam fosfat atau *zinc chloride*. Hampir semua karbon mengandung abu (*ash*) atau *material non carbonaceous* lain seperti misalnya sulfur yang akan mempengaruhi reaksi potensial antara molekul yang teradsorpsi. Oleh karena itu perlu diteliti terlebih dahulu efek katalis dari kondisi ini untuk menentukan jenis adsorbat yang sesuai (Schweitzer, 1979).

2). Alumina

Jenis alumina yang paling sering digunakan adalah V-alumina dengan *specific surface area* berkisar antara 200-300 m²/g. Biasanya digunakan pada proses pengambilan air dalam aliran gas.

3). Silica gel

Silica gel ini sering digunakan dalam industri untuk menjerap air karena *hydrophilicity*-nya besar. Silica gel memiliki *specific area* antara 250-900 m²/g.

4). Zeolite

Zeolite dapat ditemukan di alam atau diperoleh sebagai bahan sintesis. Ada beberapa jenis zeolite tipe A, X, Y, mordenite, dan sebagainya. Zeolite memiliki *specific surface area* antara 1-20 m²/g .

5). *Molecular sieve*

Molecular sieve merupakan logam kristalin alumina silikat dengan jaringan struktur yang saling berhubungan dari silica dan aluminium tetrahedral (Walter, 1945). *Molecular sieve* mempunyai *specific surface area* antara 800-1000 m²/g (Schweitzer, 1979).

Adsorbent yang baik harus memenuhi kedua syarat sebagai berikut yaitu 1). Memiliki *surface area* yang besar atau *micropore volume* besar; 2). Memiliki *pore network* yang besar untuk transport molekul ke dalam pori.

Klasifikasi ukuran pori menurut IUPAC adalah sebagai berikut :

Mikropori	$d < 2 \text{ nm}$
Mesopori	$2 < d < 50 \text{ nm}$
Makropori	$d > 50 \text{ nm}$

Adsorbate

Berdasarkan pada jenis *adsorbate*-nya, Proses adsorpsi dibagi jadi dua yaitu 1). *Adsorbate* murni (*single componen*); 2). Multi komponen (Mantell, 1951).

Hal-hal yang mempengaruhi jumlah *adsorbate* yang terjerap adalah sebagai berikut :

- 1) Sifat-sifat *adsorbate*, misalnya : *polarity*, berat molekul, ukuran dan kelarutan dalam pelarut.
- 2) Sifat-sifat *adsorbent*, misalnya : *surface area*, *pore size*, berat adsorbent, jenis adsorbent dan *surface distribution*.
- 3) Kondisi lingkungan, misalnya : suhu, konsentrasi dan pH.

Jumlah *adsorbate* yang terjerap akan meningkat dengan bertambahnya berat molekul sebagai satu deret homolog, bertambahnya *surface area*, bertambahnya konsentrasi solut tetapi perlu diperhatikan pula kapasitas maksimum dari *adsorbent* dan menurun dengan bertambahnya suhu pada proses adsorpsi dan bertambahnya kelarutan serta *polarity adsorbate*.

Mekanisme Proses Adsorpsi

Kecepatan perpindahan massa pada proses adsorpsi relatif kompleks. Secara umum langkah-langkah perpindahan massanya adalah sebagai berikut :

1. Perpindahan massa zat terlarut dari cairan ke permukaan padatan
2. didekati dengan persamaan berikut :
 $N_{af} = K_c W (CA_f - CA_f^*) \quad (2)$
3. Perpindahan massa larutan di permukaan pori-pori padatan dengan terjadinya difusi solute ke dalam padatan., yang dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$N_{ar} = -De.A \frac{dCa}{dx} \quad (3)$$

Perpindahan massa antar fase cair-padat dari suatu zat terjadi karena masing-masing fase terdapat perbedaan konsentrasi zat tersebut, yaitu pada badan utama fase dan pada permukaan antar fase. Pada permukaan antar fase, konsentrasi zat di kedua fase berada dalam kesetimbangan.

Untuk analisis selanjutnya diperlukan konstanta kesetimbangan dan digunakan metode Langmuir untuk menentukan konstanta kesetimbangan.

$$XA = \frac{X A^* H . CA_f}{1 + H . CA_f} \quad (4)$$

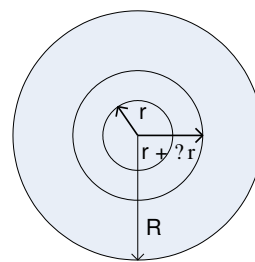
Landasan Teori

Percobaan ini dilakukan dengan mengontakkan larutan zat warna dengan *Granular Activated Carbon* dalam tangki berimpeller.

Peristiwa ini dapat disusun model matematisnya dengan mengambil beberapa asumsi :

- Pelarut yang digunakan murni.
- Perpindahan massa terjadi secara radial.
- Volume larutan dan luas permukaan padatan aktif konstan.
- Impelleran sempurna, sehingga konsentrasi larutan hanya merupakan fungsi waktu.
- Distribusi padatan dalam tangki merata.
- Padatan berbentuk bola dan seragam dengan jari-jari R.
- Proses adsorpsi dalam percobaan ini dianggap *single-component*.

Model matematis yang digunakan



Gambar 1. Elemen Volume pada Butiran Karbon.

Neraca massa komponen pada elemen volume padatan

[Rate of Input] - [Rate of output] = [Rate of Accumulation]

$$\left[4\pi (r + \Delta r)^2 D_e \frac{\partial C_a}{\partial r} \Big|_{r+\Delta r} \right] - \left[4\pi r^2 D_e \frac{\partial C_a}{\partial r} \Big|_r \right] = 4\pi r^2 \Delta r \frac{\partial C_a}{\partial t}$$

$$\frac{(r + \Delta r)^2 D_e \frac{\partial C_a}{\partial r} \Big|_{r+\Delta r} - r^2 D_e \frac{\partial C_a}{\partial r} \Big|_r}{\Delta r} = r^2 \frac{\partial C_a}{\partial t}$$

$$\left[4\pi (r + \Delta r)^2 D_e \frac{\partial C_a}{\partial r} \Big|_{r+\Delta r} \right] - \left[4\pi r^2 D_e \frac{\partial C_a}{\partial r} \Big|_r \right] = 4\pi r^2 \Delta r \frac{\partial C_a}{\partial t}$$

$$\frac{(r + \Delta r)^2 D_e \frac{\partial C_a}{\partial r} \Big|_{r+\Delta r} - r^2 D_e \frac{\partial C_a}{\partial r} \Big|_r}{\Delta r} = r^2 \frac{\partial C_a}{\partial t} \quad (5)$$

Jika diambil lim $\Delta r \rightarrow 0$, maka

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 D_e \frac{\partial Ca}{\partial r} \right) = r^2 \frac{\partial Ca}{\partial t}$$

$$\frac{\partial^2 Ca}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial Ca}{\partial r} = \frac{1}{D_e} \frac{\partial Ca}{\partial t} \quad (6)$$

Kondisi batas persamaan adalah

$$\square \text{ Kondisi awal} \quad Ca(r, 0) = 0$$

$$\square \text{ Kondisi batas}$$

1. Pada $r = R$

$$D_e \frac{\partial Ca}{\partial r} \Big|_{R,t} = Kc.W.(Caf - Caf^*)$$

2. Pada $r = 0$

$$\frac{\partial Ca}{\partial r}(0, t) = 0$$

Persamaan diferensial di atas diselesaikan dengan metode *finite Difference*. Dengan cara ini persamaan diferensial tersebut diubah menjadi *difference equation* berupa persamaan aljabar. Jari-jari padatan dibagi menjadi interval-interval kecil setebal r , sejumlah N sehingga :

$$R/N \approx r$$

Batas-batas interval diberi indeks $i = 1, 2, 3, \dots, N$ dengan demikian :

$$r = ix\Delta r$$

$$t = jx\Delta t$$

Pendekatan dilakukan dengan metode Crank-Nicholson sebagai berikut :

$$\frac{\partial Ca}{\partial r} = \frac{Ca_{i+1,j} - Ca_{i,j} + Ca_{i+1,j+1} + Ca_{i,j+1}}{2\Delta r}$$

$$\frac{\partial Ca}{\partial r} = \frac{Ca_{i+1,j} - Ca_{i,j} + Ca_{i+1,j+1} + Ca_{i,j+1}}{2\Delta r}$$

$$\frac{\partial^2 Ca}{\partial r^2} = \frac{Ca_{i-1,j} - 2Ca_{i,j} + Ca_{i+1,j} + Ca_{i-1,j+1} + 2Ca_{i,j+1} - Ca_{i+1,j+1}}{2(\Delta r)^2}$$

$$\frac{\partial Ca}{\partial t} = \frac{Ca_{i,j+1} - Ca_{i,j}}{\Delta t}$$

$$\frac{\partial^2 Ca}{\partial r^2} = \frac{Ca_{i-1,j} - 2Ca_{i,j} + Ca_{i+1,j} + Ca_{i-1,j+1} + 2Ca_{i,j+1} - Ca_{i+1,j+1}}{2(\Delta r)^2}$$

$$\frac{\partial Ca}{\partial t} = \frac{Ca_{i,j+1} - Ca_{i,j}}{\Delta t}$$

Substitusi ke persamaan (7) akan diperoleh :

$$\left[1 - \frac{2}{i}\right]Ca_{i-1,j+1} + \left[-2 - 2M\right]Ca_{i,j+1} + \left[1 + \frac{2}{i}\right]Ca_{i+1,j+1}$$

$$= \left[\frac{2}{i} - 1\right]Ca_{i-1,j} + [2 - 2M]Ca_{i,j}$$

$$\left[1 - \frac{2}{i}\right]Ca_{i-1,j+1} + [-2 - 2M]Ca_{i,j+1} + \left[1 + \frac{2}{i}\right]Ca_{i+1,j+1}$$

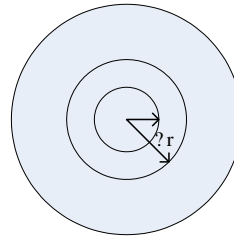
$$= \left[\frac{2}{i} - 1\right]Ca_{i-1,j} + [2 - 2M]Ca_{i,j}$$

$$+ \left[-1 - \frac{2}{i}\right]Ca_{i,j+1} + \left[-1 - \frac{2}{i}\right]Ca_{i+1,j} \quad (7)$$

$$\text{Dengan } M = \frac{(\Delta r)^2}{D_e \Delta t}$$

Persamaan (7) berlaku untuk daerah $I = 1, 2, 3, \dots, [N-1]$

Untuk daerah di sekitar $i = 0$



Gambar 2 Elemen Volume di Sekitar $r = 0$.

Neraca massa komponen

[Rate of Input] - [Rate of output] = [Rate of Accumulation]

$$-4\pi D_e \left(\frac{\Delta r}{2}\right)^2 \frac{\partial Ca}{\partial r} - 0 = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{\Delta r}{2}\right)^3 \frac{\partial Ca}{\partial t}$$

$$\frac{\partial Ca}{\partial r} = -\frac{\Delta r}{6D_e} \frac{\partial Ca}{\partial t} \quad (8)$$

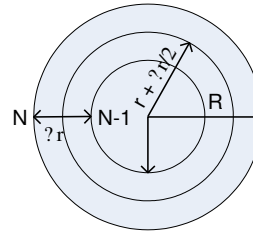
Didapat persamaan

$$(-3 - M)Ca_{0,j+1} + 3Ca_{1,j+1} = (M - 3)Ca_{0,j} + (-3)Ca_{1,j}$$

$$(-3 - M)Ca_{0,j+1} + 3Ca_{1,j+1} = (M - 3)Ca_{0,j} + (-3)Ca_{1,j}$$

(9)

Untuk daerah di sekitar $i = N$



Gambar 3 Elemen Volume di Sekitar $r = N$.

Neraca massa komponen

[Rate of Input] - [Rate of output] = [Rate of Accumulation]

$$4\pi R^2 KoW(caf - Caf^*) - \left(-D_e 4\pi \left(R - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 \rho \frac{\partial Ca}{\partial r} \Big|_{r=N}\right) = 4\pi \left(R - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 \frac{\Delta r}{2} \frac{\partial Ca}{\partial t}$$

$$4\pi R^2 KoW(caf - Caf^*) - \left(-D_e 4\pi \left(R - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 \rho \frac{\partial Ca}{\partial r} \Big|_{r=N}\right) = 4\pi \left(R - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 \frac{\Delta r}{2} \frac{\partial Ca}{\partial t} \quad (10)$$

Dengan memasukkan pendekatan akan didapatkan

$$-\left(R - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 Ca_{N-1,j+1} + \left(R - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 - \frac{KcWR^2\Delta H}{D_e} - M\left(R - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 Ca_{N,j+1} + \frac{KcWR^2\Delta c}{D_e} Caf_{j+1} =$$

$$-\left(R - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 Ca_{N-1,j} + \left(R - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 - \frac{KcWR^2\Delta H}{D_e} - M\left(R - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 Ca_{N,j} + \frac{KcWR^2\Delta c}{D_e} Caf_j =$$

$$\left(R - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 Ca_{N-1,j} + \left[M\left[R - \frac{\Delta r}{4}\right]^2 + \frac{KcWR^2\Delta H}{D_e} - \left[R - \frac{\Delta r}{2}\right]^2\right] Ca_{N,j} - \frac{KcWR^2\Delta c}{D_e} Caf_j$$

$$\left(R - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 Ca_{N-1,j} + \left[M\left[R - \frac{\Delta r}{4}\right]^2 + \frac{KcWR^2\Delta H}{D_e} - \left[R - \frac{\Delta r}{2}\right]^2\right] Ca_{N,j} - \frac{KcWR^2\Delta c}{D_e} Caf_j \quad (11)$$

Nilai Caf_j dapat dicari dari neraca massa komponen di fase padat dan cair.

Jumlah komponen A pada saat t di fase cair = Jumlah komponen A mula-mula dalam padatan

$$WCaf_j + \frac{V}{R} \int Ca \partial r = VCa_0 + WCaf_0 \quad (11)$$

$$Caf_j = Caf_0 - \frac{V}{WR} \int_0^R Ca \partial r \quad (12)$$

Nilai Caf_j tiap komponen dihitung secara numeris dengan Simpson's Rule. Sedangkan harga Caf_{j+1} dapat dicari dari neraca massa komponen dalam solven.

[Rate of Input]-[Rate of output]=[Rate of Accumulation]

$$0 - 4\pi R^2 KcNb (Caf - Caf^*) = \frac{dCaf}{dt} \quad (13)$$

Kondisi awal : $t = 0 : Caf = Caf_0$

Jika ;

$$\beta = 2\pi R^2 KcNb \Delta t$$

$$Nb = \frac{6m}{\rho \pi D^3}$$

Dilakukan pendekatan, akan didapat :

$$Caf_{j+1} = \frac{(\beta+1)Caf_j - \beta C_{A_{N,j+1}} - \beta C_{A_{N,j}}}{1-\beta} \quad (14)$$

sehingga untuk $r = R$ akan diperoleh persamaan

$$\begin{aligned} & -\left(R - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 Ca_{N-1,j+1} + \left[\left(R - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 - \frac{KcWR^2 \Delta r H}{D_e} \left(1 - \frac{\beta}{1-\beta}\right) - M\left(R - \frac{\Delta r}{4}\right)^2\right] Ca_{N,j+1} = \\ & \left(R - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 Ca_{N-1,j} + \left[-M\left(R - \frac{\Delta r}{4}\right)^2 + \frac{KcWR^2 \Delta r H}{D_e} \left(1 + \frac{\beta}{1-\beta}\right) - \left(R - \frac{\Delta r}{2}\right)^2\right] Ca_{N,j} - \\ & \frac{KcWR^2 \Delta r}{D_e} \left(1 + \frac{\beta+1}{1-\beta}\right) Caf_j \\ & -\left(R - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 Ca_{N-1,j+1} + \left[\left(R - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 - \frac{KcWR^2 \Delta r H}{D_e} \left(1 - \frac{\beta}{1-\beta}\right) - M\left(R - \frac{\Delta r}{4}\right)^2\right] Ca_{N,j+1} = \\ & \left(R - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 Ca_{N-1,j} + \left[-M\left(R - \frac{\Delta r}{4}\right)^2 + \frac{KcWR^2 \Delta r H}{D_e} \left(1 + \frac{\beta}{1-\beta}\right) - \left(R - \frac{\Delta r}{2}\right)^2\right] Ca_{N,j} - \\ & \frac{KcWR^2 \Delta r}{D_e} \left(1 + \frac{\beta+1}{1-\beta}\right) Caf_j \end{aligned} \quad (15)$$

Dari persamaan-persamaan (7),(9),(12) dan (15), bila harga kadar solut dengan indeks j diketahui maka harga-harga kadar solut dengan indeks $j+1$ dapat dihitung. Dalam hal ini terbentuk $(N+1)$ bilangan yang tidak diketahui ($Ca_{A0,j+1}$, $Ca_{A1,j+1}$, $Ca_{A2,j+1}$, ..., $Ca_{AN,j+1}$). Kadar solut pada saat awal ($t = 0$) diketahui, sehingga harga kadar solut dengan indeks $j = 1$ dapat dihitung. Berdasar harga kadar solut pada $j = 1$, maka harga kadar solut dengan indeks $j = 2$ dapat dihitung. Demikian seterusnya sampai batas waktu yang diinginkan. Harga Kc optimum dan De optimum masing-masing komponen dapat dicari dengan cara coba-coba sampai diperoleh jumlah kuadrat selisih (SSE) antara Caf_A percobaan yang minimum. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan metode Hooke-Jeeves.

$$SSE = (Caf_i \text{ data} - Caf_i \text{ perhitungan})^2 \quad (16)$$

Pada percobaan ini selain mencari koefisien transfer massa (Kc) dan diffusivitas efektif (De), juga dicari diffusivitas permukaan (*surface diffusion* / Ds). Hubungan antara De dan Ds ditunjukkan pada persamaan di bawah ini :

$$\begin{aligned} De &= \left(\frac{1}{\tau_p}\right) \left[Dk + \frac{1-\varepsilon_p}{\varepsilon_p} \left(\frac{q^* \rho_p}{Caf} \right) Ds \right] \\ De &= \left(\frac{1}{\tau_p}\right) \left[Dk + \frac{1-\varepsilon_p}{\varepsilon_p} \left(\frac{q^* \rho_p}{Caf} \right) Ds \right] \end{aligned} \quad (17)$$

dimana :

De = Diffusivitas Efektif, cm^2/men .

Dk = Diffusivitas Knudsen, cm^2/men .

Ds = Diffusivitas Permukaan, cm^2/men .

τ_p = Particle Tortousity = 4,9

ε_p = Particle Void Fraction = 0,58.

ρ_p = Densitas Padatan, g/cm^3 .

Caf = Konsentrasi Solut dalam Solven setelah terjadi kesetimbangan, g/ml .

q^* = Konsentrasi fase terjerap pada saat setimbang, $\text{g solute}/\text{g padatan}$.

Diffusivitas permukaan kurang penting untuk system cair-padat, diffusivitas permukaan lebih berperan dalam sistem gas-padat. Pada sistem cair-padat, molekul cairan terjerap pada permukaan padatan. Diffusivitas permukaan biasanya diukur dalam bentuk *diaphragm cell*, dengan padatan berpori sebagai *diaphragm*.

Pada persamaan diatas, Dk diabaikan karena pada cairan bilangan Knudsen kecil. Bilangan Knudsen itu sendiri adalah :

$$Kn = \frac{l}{d} \quad (18)$$

dimana :

l = Jarak antar molekul yang bertumbukan.

d = diameter pori.

Untuk cairan, l besarnya hanya beberapa angstrom, berbeda dengan gas, bilangan Knudsen pada gas lebih besar, karena jarak antar molekul yang bertumbukan lebih besar dibanding diameter pori padatan. Dengan demikian persamaan (21) menjadi :

$$De = \left(\frac{1}{\tau_p}\right) \left[\frac{1-\varepsilon_p}{\varepsilon_p} \left(\frac{q^* \rho_p}{Caf} \right) Ds \right] \quad (19)$$

Secara umum hubungan antara koefisien transfer massa dengan variable-variabel yang berpengaruh dinyatakan dalam

$$Sh = A Re^B Sc^C$$

dengan

Sh : Bilangan Sherwood

$$Sh = \frac{Kc \cdot d}{\rho \cdot D_L}$$

Re : Bilangan Reynold

$$Re = \frac{\rho \cdot N \cdot d^2}{\mu}$$

Sc : Bilangan Schmidt

$$Sc = \frac{\mu}{\rho \cdot D_L}$$

Bila bahan yang digunakan tidak diubah maka Sc tetap sehingga persamaan menjadi :

$$Sh = A Re^B \quad (20)$$

Untuk menentukan bilangan Sherwood diperlukan data Diffusivitas molekuler. Diffusivitas molekuler dapat dicari dengan persamaan Wilke-Chang

$$D_m = \frac{(117,3 \cdot 10^{-18}) (\phi M_B)^{0,5} T}{\mu \nu_A^{0,6}} \quad (21)$$

dimana :

D_m = Diffusivitas molekuler, m^2/s

M_B = Berat molekul Solven
= 18 kg/kgmol.

T = Suhu, $^{\circ}K$

μ = Viskositas larutan, kg/m.s

ν_A = Volume molal solut
= 0,4168 $m^3/kgmol$

ϕ = Faktor asosiasi untuk solven.
= 2,26 untuk air sebagai solven.

METODE

Dalam penelitian ini akan digunakan adsorbat berupa larutan zat warna naftol untuk tekstil dengan merk Dylon yang dilarutkan dalam *aquadest*, serta *adsorbent* berupa arang aktif, dengan sifat fisis sebagai berikut: $dp = 0,18795$ cm; lolos di ayakan 200 mesh.

Adapun tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tahap Persiapan

Tahap persiapan meliputi merangkai alat untuk proses dekolorisasi serta membuat kurva standar absorbansi dan konsentrasi, yaitu dengan membuat larutan zat warna naftol dengan bermacam-macam konsentrasi yaitu 20, 40, 60, 80, dan 100 ppm, kemudian diukur absorbansinya dengan spektrofotometer Visible. Hasil pengukuran dibuat grafik hubungan absorbansi dengan konsentrasi sehingga akan didapat data absorbansi sebagai fungsi konsentrasi. Dengan data yang ada, dibuat kurva standar antara absorbansi dan konsentrasi.

2. Tahap Percobaan

Dengan konsentrasi Caf_{0A} larutan zat warna dimasukkan ke dalam tangki yang telah diisi dengan *Granular Activated Carbon* sebanyak 20 gram dengan diameter partikel 0,18975 cm.

Kemudian impeller dihidupkan. Pada saat impeller mulai dihidupkan, dihitung $t = 0$. Setiap selang waktu tertentu, sampel diambil untuk diukur absorbansinya spektrofotometer Visible kemudian diplotkan pada kurva standar sehingga didapat data penelitian berupa konsentrasi larutan versus waktu. Proses dihentikan saat konsentrasi diperkirakan sudah setimbang. Variabel yang digunakan adalah variasi konsentrasi dan kecepatan putaran impeller.

3. Tahap Analisa

Dari percobaan yang dilakukan, didapatkan data Caf sebagai fungsi waktu. Setelah dicapai kesetimbangan dalam waktu yang cukup lama akan didapat Caf^* . Diketahui nilai konsentrasi awal (Caf_0), Berat karbon dan berat pelarut, kadar komponen di padatan pada keadaan setimbang dapat dihitung :

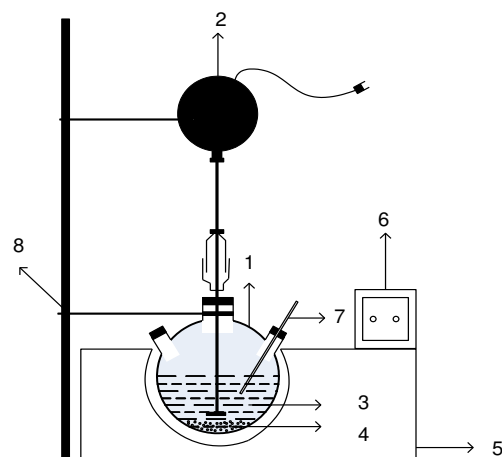
$$\frac{m}{\rho} (Caf_0 - Caf^*) = W(Ca - Ca_0)$$

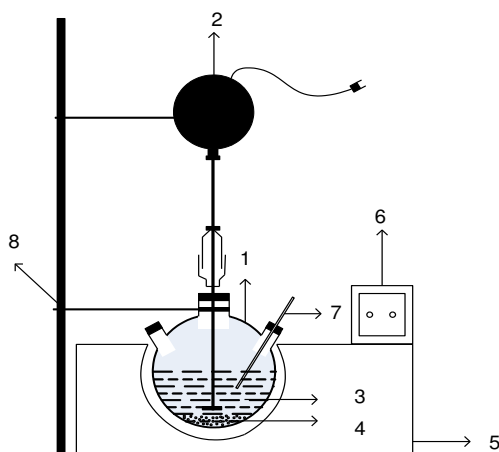
$$XA = \frac{\frac{m}{\rho} (Caf_0 - Caf^*)}{W} \quad (22)$$

Dengan variasi konsentrasi awal zat warna, maka akan didapat nilai-nilai XA dan Caf^* untuk masing-masing komponen slope garis yang menghubungkan data ($1/XA$) dan ($1/Caf^*$) tiap komponen menunjukkan konstanta kesetimbangan padat-cair. Pada simulasi ini dicari nilai Kc dan De yang memberikan nilai Caf simulasi yang dekat dengan data penelitian. Nilai De dan Kc yang dipilih adalah yang memberikan SSE minimum. Minimum ini dijalankan secara numeris dengan metode Hooke-Jeeves.

$$SSE = \sum (Caf_{data} - Caf_{simulasi})^2 \quad (16)$$

Rangkaian alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:





Keterangan :

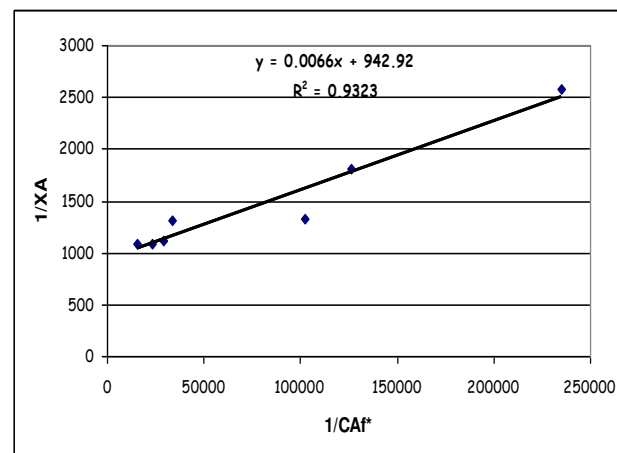
1. Labu leher tiga
2. Motor Impeller
3. Adsorbate
4. Adsorbent
5. Primata Martina, Menentukan Water bath
6. Pengontrol suhu
7. Termometer
8. Statif dan klem.

Dengan metode Langmuir didapat persamaan garis untuk zat warna :

$$\frac{1}{XA} = 0,0066 \frac{1}{CAf^*} + 942,92 \quad (23)$$

dengan kesalahan relative sebesar 8,7549 %. Konstanta kesetimbangan ditentukan dari persamaan garis tersebut yakni 151,5151.

Grafik dari persamaan disajikan pada gambar 1:



Gambar 4. Grafik Hubungan $1/CAf^*$ dengan $1/XA$

No	$CA_{fo} \cdot 10^6$, g/ml	$CAf^* \cdot 10^6$ g/ml	W, gram	V, ml	XA , gr solut/gr padatan	$1/CAf^*$	$1/XA$
1.	100	63,3	20,001	500	0,00091745	15797,72608	1089,972752
2.	80	43,3	19,997	500	0,00091764	23094,68822	1089,754768
3.	70	34,25	20	500	0,00089375	29197,08029	1118,881119
4.	60	29,8	19,897	500	0,000758908	33557,04698	1317,682119
5.	40	9,75	20,005	500	0,000756061	102564,1026	1322,644628
6.	30	7,91	20	500	0,00055225	126422,2503	1810,774106
7.	20	4,25	20,352	500	0,00038694	235294,1176	2584,380952

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hubungan Kesetimbangan Padat-Cair

Proses adsorpsi yang dilakukan pada percobaan ini merupakan sistem padat-cair. Diperlukan data setimbang untuk mencari besarnya tetapan kesetimbangan yang akan digunakan untuk analisis selanjutnya. Untuk mencari tetapan kesetimbangan digunakan metode Langmuir. Data untuk mencari konstanta kesetimbangan diambil pada suhu lingkungan 28°C . Dari data penelitian diperoleh :

2. Pengaruh Waktu, CA_o , Kecepatan Impeller, dan Suhu terhadap CAf Komponen

Dari penelitian ini didapat data CAf masing-masing komponen sebagai fungsi dari waktu yang kemudian digunakan untuk mencari K_c Optimum dan Diffusivitas Efektif yang memberikan nilai CAf perhitungan tiap-tiap komponen yang dekat dengan nilai data. Tabel-tabel dibawah ini menunjukkan perbandingan antara nilai data dengan nilai perhitungan.

Tabel I. Data Hubungan antara $1/CAf^*$ dengan $1/XA$

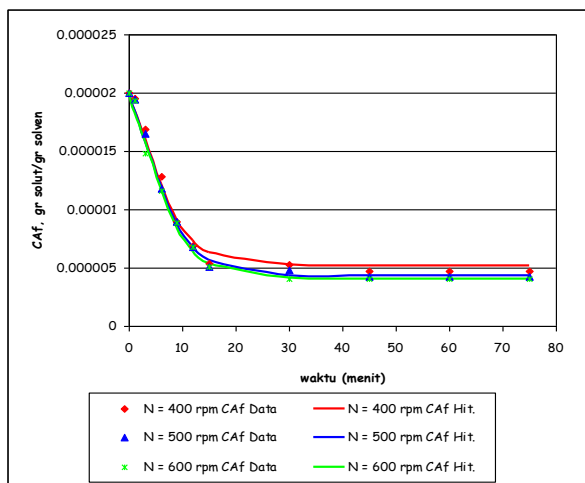
Tabel II. Data Hubungan antara Waktu dengan Caf pada Berbagai Kecepatan Impeller dengan $CAfo = 0,00002$ gr/ml, $W = 20$ gram, $V = 500$ ml, dan $T = 28^{\circ}C$

No	Waktu (menit)	Caf.10 ⁶ , gr solut/gr solven					
		Data			Perhitungan		
		400 rpm	500 rpm	600 rpm	400 rpm	500 rpm	600 rpm
1.	0	20	20	20	20	20	20
2.	1	19,5	19,45	19,3	18,4494	18,5329	18,341
3.	3	16,87	16,49	14,78	16,1153	15,8019	15,877
4.	6	12,87	11,79	11,65	12,2106	11,9937	11,737
5.	9	8,95	8,94	8,85	9,1649	8,8087	8,462
6.	12	6,85	6,76	6,8	7,3209	6,8243	6,449
7.	15	5,35	5,13	5,05	6,3118	5,694	5,331
8.	30	5,25	4,8	4,1	5,2435	4,3715	4,122
9.	45	4,75	4,25	4,05	5,2034	4,3058	4,074
10.	60	4,75	4,25	4,05	5,2019	4,3025	4,074
11.	75	4,75	4,25	4,05	5,2019	4,3025	4,074

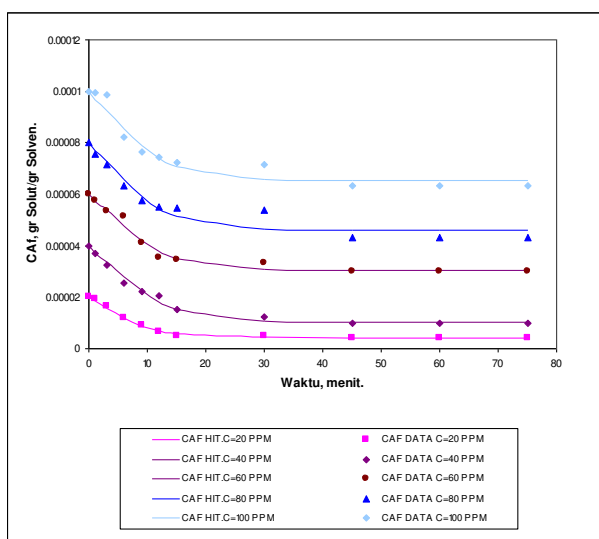
Tabel III. Data Hubungan antara Waktu dengan Caf pada Berbagai Konsentrasi Awal dengan $N = 500$ rpm, $W = 20$ gram, $V = 500$ ml, dan $T = 28^{\circ}C$

No	Waktu (mnt)	Caf.10 ⁶ ,g solut/g solven.									
		Data					Perhitungan				
		Cafo = 20.10 ⁻⁶ g/ml	Cafo = 40.10 ⁻⁶ g/ml	Cafo = 60.10 ⁻⁶ g/ml	Cafo = 80.10 ⁻⁶ g/ml	Cafo = 100.10 ⁻⁶ g/ml	Cafo = 20.10 ⁻⁶ g/ml	Cafo = 40.10 ⁻⁶ g/ml	Cafo = 60.10 ⁻⁶ g/ml	Cafo = 80.10 ⁻⁶ g/ml	Cafo = 100.10 ⁻⁶ g/ml
1	0	20	40	60	80	100	20	40	60	80	100
2	1	19,45	37,1	57,47	75,65	99,65	18,5329	37,1913	57,1576	76,7437	96,646
3	3	16,49	32,4	53,58	71,54	98,54	15,8019	33,841	53,6681	72,7235	92,3695
4	6	11,79	25,55	51,23	63,35	81,35	11,9937	27,9736	47,5747	65,708	84,9367
5	9	8,94	22,15	41,16	57,5	76,5	8,8087	22,4344	41,9225	59,2237	78,2166
6	12	6,76	20,64	35,34	55,15	73,4	6,8243	18,176	37,6829	54,3839	73,3479
7	15	5,13	15,35	34,55	54,4	72,5	5,694	15,2648	34,8546	51,1708	70,2075
8	30	4,8	12,28	33,35	53,9	71,5	4,3715	10,7827	30,6867	46,4764	65,8454
9	45	4,25	9,75	29,8	43,3	63,3	4,3058	10,3962	30,3579	46,1126	65,5412
10	60	4,25	9,75	29,8	43,3	63,3	4,3025	10,3638	30,3326	46,085	65,5203
11	75	4,25	9,75	29,8	43,3	63,3	4,3025	10,361	30,3306	46,083	65,5189

Hasil perhitungan yang diperoleh dari program komputer digambarkan dalam bentuk grafik sebagai berikut :



Gambar 5. Grafik Hubungan antara Waktu (menit) dan CAF (gr solut/gr solven) pada Berbagai Kecepatan Putaran Pengaduk



Gambar 6. Grafik Hubungan antara Waktu (menit) dan CAF (gr solut/gr solven) pada Berbagai Konsentrasi Awal.

Berdasarkan grafik-grafik di atas, terlihat bahwa dengan bertambahnya waktu, konsentrasi solut dalam solven cenderung semakin menurun. Namun pada suatu saat akan tercapai kondisi dimana konsentrasi solut dalam solven relatif tetap. Keadaan ini disebut keadaan setimbang.

Penurunan konsentrasi terlihat pada 3-9 menit pertama. Hal ini dapat dilihat pada grafik. Pada permulaan adsorpsi, permukaan karbon masih kosong dan konsentrasi solut dalam cairan masih tinggi, sehingga kecepatan adsorpsi awal sangat tinggi. Kecepatan penyerapan semakin

turun karena sebagian permukaan karbon sudah tertutup dan konsentrasi solut dalam cairan juga semakin kecil.

Dari hasil perhitungan untuk berbagai variasi terdapat perbedaan jumlah solut yang terjerap setelah terjadinya proses adsorpsi. Untuk variasi konsentrasi, semakin besar konsentrasi maka jumlah solute yang terjerap juga semakin besar, karena semakin besar konsentrasi, molekul solute dalam larutan juga semakin besar sehingga solut terjerap dengan cepat ke adsorbent namun ada batas maksimalnya. Untuk variasi kecepatan putaran pengaduk maka jumlah solute yang terjerap juga semakin besar hal ini dikarenakan dengan adanya olakan akan memperbanyak frekuensi kontak seluruh larutan dengan padatan sehingga solut yang ditransfer ke padatan akan bertambah.

Untuk nilai K_c , D_e , dan konstanta kesetimbangan tersebut, konsentrasi solut hasil perhitungan nilainya mendekati data-data penelitian. Ralat rata-rata untuk berbagai variasi ditunjukkan pada Tabel IV dan V.

Tabel IV. Ralat Rata-Rata CAF Perhitungan Terhadap Hasil Data Pada Berbagai Konsentrasi Awal.

No.	CAo, gr/ml	Ralat rata-rata, %
1.	0,00002	3,2863
2.	0,00004	5,3944
3.	0,00006	2,7848
4.	0,00008	4,5853
5.	0,0001	3,4203

Tabel V. Ralat Rata - Rata Caf Perhitungan Hasil Data Pada Berbagai Kecepatan Putaran Pengaduk.

No	N, rpm	Ralat rata-rata, %
1.	400	6,8227
2.	500	3,2863
3.	600	2,7703

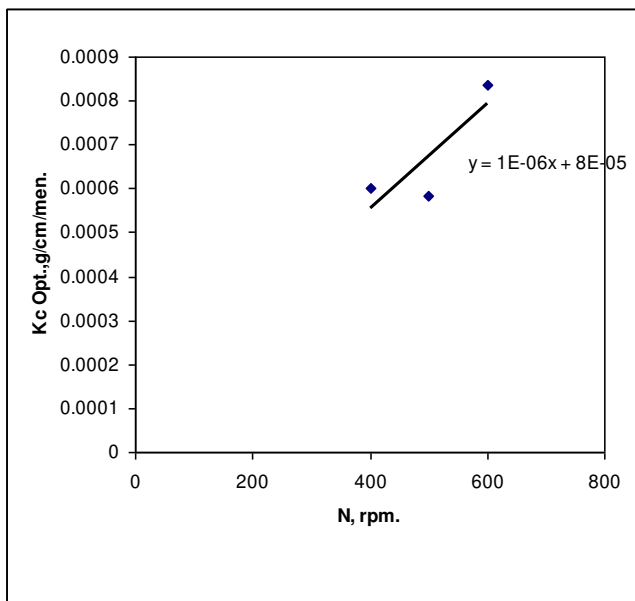
Pada tabel-tabel di bawah ini akan dicantumkan nilai koefisien transfer massa dan diffusivitas efektif dari proses adsorpsi antara zat warna sebagai adsorbat dan karbon aktif sebagai

adsorbent. Nilai K_c dan D_e untuk percobaan tersebut adalah nilai

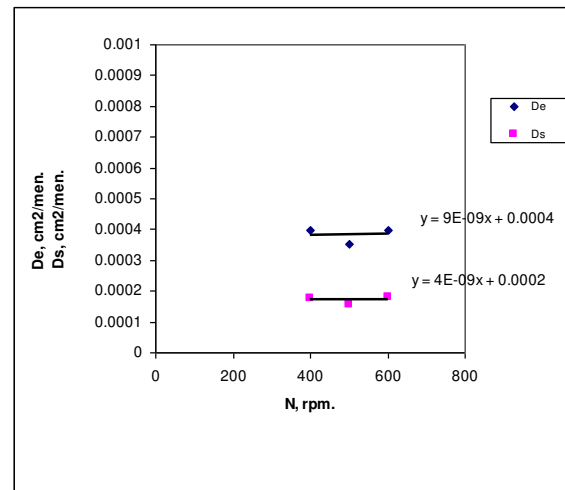
K_c dan D_e yang memberikan nilai *Sum Square of Error* (SSE) antara $CA_f = f(t)$ data dan $CA_f = f(t)$ simulasi yang minimum. Minimasi dilakukan secara numeris dengan metode Hooke-Jeeves. Selain Diffusivitas efektif, dalam percobaan ini juga dicoba untuk mencari diffusivitas permukaan (D_s). Data-data yang didapat ditampilkan pada tabel VI dan VII, kemudian dibuat grafik seperti yang ada di bawah ini.

Tabel VI. Nilai Koefisien Transfer Massa (K_c), Diffusivitas Efektif (D_e) dan Diffusivitas Permukaan (D_s) pada Berbagai Kecepatan Putaran Pengaduk. Dengan $W=20$ gram ; $V=500$ ml ; $CA_{fo}=20$ ppm; $T=28^\circ C$

No	N, rpm	$K_c \cdot 10^4$, g/cm ² /men.	$D_e \cdot 10^4$, cm ² /men.	$D_s \cdot 10^4$, cm ² /men.
1	400	5,999	3,978	1,776
2	500	5,85	3,524	1,574
3	600	8,369	3,995	1,784



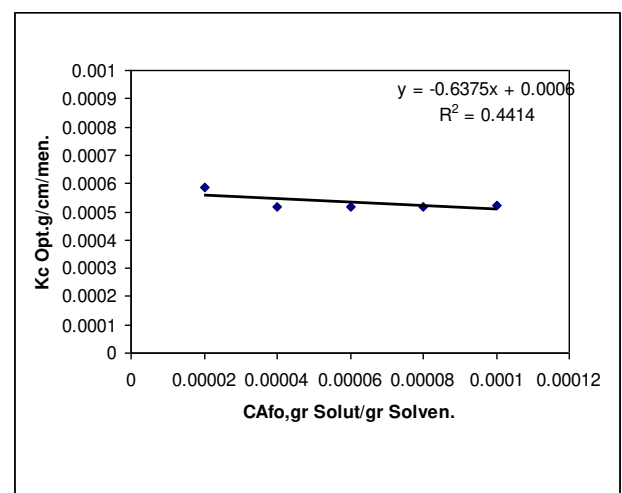
Gambar 7. Grafik Hubungan antara Kecepatan Putaran Pengaduk dengan K_c Optimum



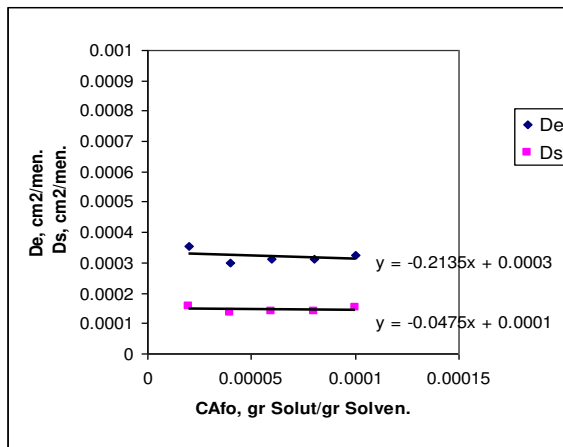
Gambar 8. Grafik Hubungan antara CA_{fo} dengan Difusivitas Efektif (D_e) dan Difusivitas Permukaan (D_s).

Tabel VIII. Nilai Koefisien Transfer Massa (K_c), Diffusivitas Efektif (D_e) dan Diffusivitas Permukaan (D_s) pada Berbagai Konsentrasi Awal (CA_{fo}) dengan $W = 20$ gram ; $V = 500$ ml ; $N = 500$ rpm ; $T = 28^\circ C$

No	$CA_{fo} \cdot 10^6$, g/ml	$K_c \cdot 10^4$, g/cm ² /men	$D_e \cdot 10^4$, cm ² /men	$D_s \cdot 10^4$, cm ² /men
1	20	5,85	3,524	1,575
2	40	5,163	3,004	1,342
3	60	5,151	3,107	1,388
4	80	5,17	3,127	1,397
5	100	5,209	3,249	1,500



Gambar 9. Grafik Hubungan antara CA_{fo} dengan K_c Optimum



Gambar 10. Grafik Hubungan antara CAfo dengan Difusifitas Efektif (De) dan Difusifitas Permukaan (Ds).

Terlihat bahwa nilai koefisien transfer massa lebih besar dibanding dengan diffusivitas efektif. Untuk variasi konsentrasi awal, harga Kc antara $(5,151.10^{-4} - 5,85.10^{-4})$ gr/cm²/men., De antara $(3,004.10^{-4} - 3,524.10^{-4})$ cm²/men. dan Ds antara $(1,342.10^{-4} - 1,574.10^{-4})$ cm²/men.

Pada variasi kecepatan impeller dengan range yang digunakan, nilai Kc antara $(5,85.10^{-4} - 8,369.10^{-4})$ gr/cm²/men. De antara $(3,524.10^{-4} - 3,978.10^{-4})$ cm²/men., dan Ds antara $(1,574.10^{-4} - 1,784.10^{-4})$ cm²/men.

3. Hubungan antara Kc dan Variabel-Variabel yang mempengaruhinya

Secara umum, hubungan antara koefisien transfer massa dengan variable-variabel yang mempengaruhinya dinyatakan dalam :

$$Sh = A.Re^B.Sc^C$$

Pada percobaan ini, bahan yang digunakan tidak diubah maka bilangan Schmidt (Sc) tetap Sehingga persamaan menjadi :

$$Sh = A.Re^B$$

dengan :

$$Sh : \text{Bilangan Sherwood} = \frac{Kc.d}{\rho.D_m}$$

$$Re : \text{Bilangan Reynold} = \frac{\rho.N.d^2}{\mu}$$

Untuk menentukan bilangan Sherwood

$$D_m = \frac{(117,3.10^{-18})[(2,26)(18)]^{0,5}(301)}{(8,6.10^{-4})(0,4168)^{0,6}}$$

$$D_m = 4,4269.10^{-10} \text{ m}^2 / \text{det ik.}$$

$$D_m = 2,6561.10^{-4} \text{ cm}^2 / \text{menit.}$$

diperlukan data Diffusivitas molekuler. Diffusivitas molekuler dapat dicari dengan persamaan Wilke-Chang

$$D_m = \frac{(117,3.10^{-18})[(2,26)(18)]^{0,5}(301)}{(8,6.10^{-4})(0,4168)^{0,6}}$$

$$D_m = 4,4269.10^{-10} \text{ m}^2 / \text{det ik.}$$

$$D_m = 2,6561.10^{-4} \text{ cm}^2 / \text{menit.}$$

$$D_m = \frac{(117,3.10^{-18})(\phi M_B)^{0,5} T}{\mu \nu_A^{0,6}}$$

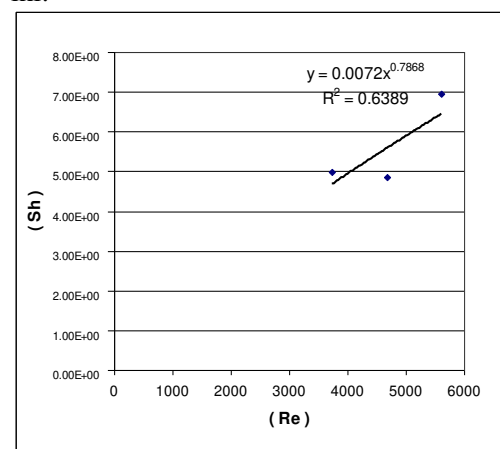
Sistem ditinjau pada konsentrasi awal (CAfo) = 20 ppm, suhu operasi = 28°C dan diasumsikan isothermal, dan dengan variasi kecepatan putaran pengaduk yaitu 400, 500 dan 600 rpm.

Pemilihan variasi kecepatan putaran pengaduk didasarkan pada kondisi transfer massa yang terjadi, cepat atau lambatnya proses. Pada percobaan pendahuluan diketahui jika kecepatan pengadukan di bawah 400 rpm, proses akan berjalan dengan lambat dan jumlah solut yang terjepit sedikit. Dan jika digunakan kecepatan pengadukan di atas 600 rpm maka turbulensi larutan akan besar sehingga tidak ada perbedaan kecepatan antara padatan dan cairan, proses transfer juga tidak akan berlangsung dengan baik. Dari hasil percobaan, didapat hasil seperti tercantum pada Tabel 3.9 dibawah ini :

Tabel IX. Data Hubungan antara Bilangan Reynold dan Bilangan Sherwood

No	N, rpm	Re	Dm	Sh
1.	400	3710,626954	0,00026561	4,99
2.	500	4638,283692	0,00026561	4,86
3.	600	5565,940431	0,00026561	6,96

Dari data di atas dibuat grafik seperti di bawah ini:



Gambar 11. Grafik Hubungan antara Bilangan Reynold dengan Bilangan Sherwood

Tabel X. Harga Bilangan Sherwood untuk Variasi Kecepatan Pengaduk.

N o.	N, rpm	Re	Sh pers.	Sh perhit.	Kesalahan Relatif
1.	400	3710,627	4,99	4,660283	6,97925316
2.	500	4638,2837	4,86	5,554706	12,475877
3.	600	5565,9404	6,96	6,411518	8,47899798

Persamaan hubungan antara Sh dan Re untuk system adsorpsi zat warna dengan adsorbent yang digunakan GAC yang diperoleh dari hasil penelitian yaitu :

$$\left(\frac{K_c.d}{\rho.Dm}\right) = 0,0072 \left(\frac{d^2 N \rho}{\mu}\right)^{0,7868} \quad (25)$$

Persamaan ini berlaku untuk kisaran bilangan Reynold 3000 sampai 5600 dengan kesalahan relatif sebesar 9,3114 %.

KESIMPULAN

1. Nilai konstanta kesetimbangan (konstanta Langmuir) yang didapatkan 151,5151.
2. Model matematis yang digunakan sesuai untuk proses adsorpsi yang ditinjau
3. Untuk perbedaan konsentrasi awal nilai Kc dan De adalah sebagai berikut, nilai Kc antara $(5,151.10^{-4} - 5,85.10^{-4})$ gr/cm²/men. dan De antara $(3,004.10^{-4} - 3,524.10^{-4})$ cm²/men.
4. Untuk kenaikan kecepatan putaran impeller nilai Kc dan De cenderung naik. Nilai Kc antara $(5,85.10^{-4} - 8,369.10^{-4})$ gr/cm²/men. dan $(3,524.10^{-4} - 3,978.10^{-4})$ cm²/men..

5. Nilai diffusivitas permukaan untuk tiap variasi :
 - Ds untuk perbedaan konsentrasi awal antara $(1,342.10^{-4} - 1,575.10^{-4})$ cm²/men.
 - Ds untuk perbedaan kecepatan impeller antara $(1,574.10^{-4} - 1,784.10^{-4})$ cm²/men
6. Hubungan antara nilai Kc dan Re dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\left(\frac{K_c.d}{\rho.Dm}\right) = 0,0072 \left(\frac{d^2 N \rho}{\mu}\right)^{0,7868}$$

Kesalahan relatif 9,3114 % berlaku untuk daerah $3000 < Re < 5600$.

DAFTAR PUSTAKA

- Brown, G. G., 1950, "Unit Operation", John Wiley and Sons Inc., New York.
- Mantell, C. L., 1951, "Adsorption", 2nd ed., McGraw-Hill Book Co., Inc., New York.
- Perry, R. H and Green, D. W., 1997, "Perry's Chemical Engineer's Handbook", 6th ed., McGraw-Hill Book Co., Inc., New York.
- Scheitwetzter, 1979, "Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers", McGraw-Hill Book Co., Inc., New York.
- Treybal, R. E., 1981, "Mass-Transfer Operation", 3rd ed., McGraw-Hill Book Co., Inc., Japan.
- Walter, J. E., 1945, "Adsorptive Separation", J. Chem. 13, 229.