

**PENYINGKIRAN PEWARNA REAKTIF DARI LARUTAN
SECARA PROSES PENGUMPALAN-JERAPAN**

CHONG BIN HERNG

**DISERTASI INI DIKEMUKAKAN UNTUK MEMENUHI
SEBAHAGIAN DARIPADA SYARAT MEMPEROLEHI IJAZAH
SARJANA MUDA SAINS DENGAN KEPUJIAN**

PERPUSTAKAAN
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

**PROGRAM KIMIA INDUSTRI
SEKOLAH SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH**

APRIL 2007



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

BORANG PENGESAHAN STATUS TESIS@

JUDUL: Pemjingsiran Pewarna Reaktif dari kantaan Secara
Proses Penggumpalan-jerapan

Ijazah: Sarjana Muda Sains Pengan. Kepujian

SESI PENGAJIAN: II 2004/2007

Saya CHONG BIN HERNG
 (HURUF BESAR)

mengaku membenarkan tesis (LPS/Sarjana/Doktor Falsafah)* ini disimpan di Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut:

1. Tesis adalah hakmilik Universiti Malaysia Sabah.
2. Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dibenarkan membuat salinan untuk tujuan pengajian sahaja.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat salinan tesis ini sebagai bahan pertukaran antara institusi pengajian tinggi.
4. **Sila tandakan (/)

SULIT

(Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan atau kepentingan Malaysia seperti yang termaktub di dalam AKTA RAHSIA RASMI 1972)

TERHAD

(Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan oleh organisasi/badan di mana penyelidikan dijalankan)

TIDAK TERHAD

*Chong
BIN
HERNG*

(TANDATANGAN PENULIS)

Disahkan oleh

Jy ak
 (TANDATANGAN PUSTAKAWAN)

Alamat Tetap: W.D.T 511, 90009
SANDAKAN, SABAH

Nama Pencilia

Tarikh: 03-04-2007

Tarikh: _____

- CATATAN: * Potong yang tidak berkenaan.
 ** Jika tesis ini SULIT atau TERHAD, sila lampirkan surat daripada pihak berkuasa/organisasi berkenaan dengan menyatakan sekali sebab dan tempoh tesis ini perlu dikelaskan sebagai SULIT dan TERHAD.
 @ Tesis dimaksudkan sebagai tesis bagi Ijazah Doktor Falsafah dan Sarjana secara penyelidikan, atau disertasi bagi pengajian secara kerja kursus dan penyelidikan, atau Laporan Projek Sarjana Muda (LPSM).



PENGAKUAN

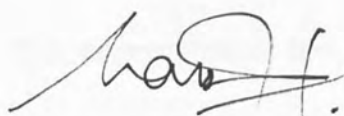
Saya akui bahawa karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang setiap satunya saya jelaskan sumbernya.

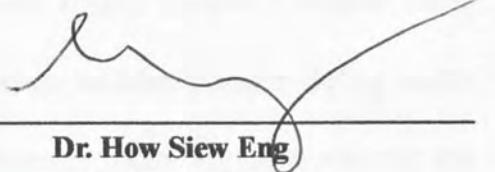
CHONG
BIN
HERNG

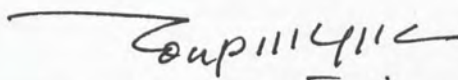
CHONG BIN HERNG
HS2004-3097

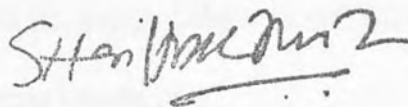
APRIL, 2007



PENGESAHAN**Nama: Chong Bin Herng****Tajuk: Proses penggumpalan-jerapan untuk penyingkiran pewarna reaktif dari larutan**

Prof. Madya Dr. Marcus Jopony

Dr. How Siew Eng

Mr. Moh Pak Yan

DEKAN
Sekolah Sains Dan Teknologi**APRIL, 2007**

PENGHARGAAN

Saya ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada penyelia saya Prof. Dr. Marcus Jopony yang telah memberi banyak nasihat dan bantuan kepada saya terhadap projek ini. Selain itu, beliau juga telah memberi maklumat penting yang dapat membantu saya menyediakan projek ini. Pensyarah-pensyarah lain yang telah memberikan saya penasihat juga saya ingin ucapkan terima kasih.

Saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada pembantu makmal kimia industri yang telah membantu saya menyelesaikan masalah makmal. Beliau adalah Encik sani. Beliau juga telah memberikan bantuan dalam kegunaan alat-alat dan bahan-bahan dalam makmal.. Selain itu, pembantu-pembantu makmal lain juga telah memberikan bantuan kepada saya.

Pada akhirnya, saya amat berterima kasih kepada rakan-rakan sekelas yang telah memberikan tunjuk ajar kepada saya. Selain itu, pelajar-pelajar master juga saya di hargai kerana telah memberikan banyak bantuan kepada saya.



ABSTRAK

Kajian ini telah menguji penyingkiran pewarna reaktif, Reactive Brilliant Blue R dari larutan dengan tiga proses yang berlainan iaitu proses penggumpalan, penjerapan dan proses penggumpalan-penjerapan. Bahan penggumpal yang digunakan adalah Al(III) dan bahan penjerap adalah serbuk aktif karbon (PAC). Kepekatan pewarna telah diuji dengan spektrometer pada panjang gelombang 592 nm. Proses penggumpalan individu, pewarna reaktif dapat disingkirkan 50-54 % pada julat bahan penggumpal 0.5-3.0 g. Manakala proses penjerapan, pewarna reaktif dapat disingkirkan dari 67-90 %. Gabungan proses penggumpalan-jerapan, keputusan mencapai hampir penghapusan pewarna dari larutan dengan peratusan penyinkiran melebihi 99%. Sehubungan itu, gabungan proses adalah lebih berkesan berbandingkan dengan proses penggumpalan dan proses penjerapan individu.



**COAGULATION-ADSORPTION PROCESS FOR REMOVAL OF REACTIVE
DYE FROM SOLUTION**

ABSTRACT

This study investigated the removal of a reactive dye, Reactive Brilliant Blue R, from aqueous solution using three processes, namely coagulation, adsorption and combined coagulation-adsorption. The coagulant that had been used was Al(III) while the adsorbent was powdered activated carbon (PAC). The efficiency of dye removal was determined at different coagulant and adsorbent dosages. The residual dye concentration was determined spectrometrically at wavelength 592 nm. The individual coagulation process resulted in 50-54 % removal of the reactive dye at 0.5-3.0 g coagulant dosage. While the adsorption process resulted in 67-90 % removal. The combined process, resulted in almost the total elimination up to 99 %. It is therefore, more efficiency compared with individual coagulation process and adsorption processes.



KANDUNGAN

	Muka Surat
PENGAKUAN	ii
DIPERAKUAN OLEH	iii
PENGHARGAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KANDUNGAN	vii
SENARAI JADUAL	x
SENARAI RAJAH	xi
SENARAI SIMBOL	xii
 BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Pengenalan	i
1.2 Objektif Kajian	4
1.3 Skop Kajian	4
 BAB 2 ULASAN LITERATUR	
2.1 Jenis-jenis Pewarna	5
2.1.1 Pewarna Asid	5
2.1.2 Pewarna Bes	8
2.1.3 Pewarna Terus	10
2.1.4 Pewarna Reaktif	13



2.2	Proses Penggumpalan	16
2.2.1	Penggumpalan	16
2.2.2	Bahan Penggumpal	19
2.2.3	Jar Tester	24
2.3	Proses Penjerapan	25
2.3.1	Penjerapan	25
2.3.2	Penjerapan Isortema	26
2.3.3	Bahan Penjerapan	31
	a. Sifat dan Keperluan Am	31
	b. Gel Silika	32
	c. Zeolit	32
	d. Karbon Teraktif	33
BAB 3 METODOLOGI		
3.1	Eksperimen	35
3.1.1	Sampel Pewarna	35
3.1.2	Penyediaan larutan pewarna	36
3.1.3	Proses Penggumpalan	36
3.1.4	Proses Penjerapan	38
3.1.5	Pergabungan Proses Penggumpalan dan Proses Penjerapan	39
BAB 4 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN		
4.1	Graf Kalibrasi	41
4.2	Proses Penggumpalan	42



4.3	Proses Penjerapan	44
4.4	Pergabungan Procs Penggumpalan dan Procs Penjerapan	45
BAB 5 KESIMPULAN		49
RUJUKAN		51
LAMPIRAN		56



SENARAI JADUAL

No. Jadual		Muka Surat
Jadual 2.1	Kuasa penggumpalan pada elektrolit tak-organik	18
Jadual 2.2	Penggumpalan Aluminium, garam besi dan kapur dengan kimia	20



SENARAI RAJAH

No. Rajah	Muka Surat
Rajah 2.1 Contoh-contoh pewarna asid	7
Rajah 2.2 Contoh-contoh pewarna bes.	9
Rajah 2.3 Contoh-contoh pewarna terus	12
Rajah 2.4 Contoh-contoh pewarna reaktif	15
Rajah 3.1 Pewarna reaktif biru 'Brilliant Blue R.	33
Rajah 4.1 Graf penentukuran: graf penyerapan pewarna melawan kepekatan dalam mg/L.	41
Rajah 4.2 Peratusan pewarna yang disingkirkan mengikut jisim bahan penggumpal.	42
Rajah 4.3 Peratusan pewarna yang disingkirkan mengikut jisim bahan penjerap	44
Rajah 4.4 Perbandingan peratusan penyingkiran bahan penggumpal dan bahan penjerap	45
Rajah 4.5 Peratusan pewarna yang disingkirkan mengikut jisim bahan penggumpal campur bahan penjerap.	46
Rajah 4.6 Perbandingan proses pengumpulan-penjerapan dengan amaun bahan.	47
Rajah 4.7 Perbandingan proses pengumpulan-penjerapan dengan amaun bahan.	48



SENARAI SIMBOL

- λ Luas permukaan yang dipilih oleh bahan dijerap
- C Keseimbangan kepekatan awal pada bahan dijerap dalam larutan
- C_s Kepekatan ketepuan pada larutan dalam air
- C_0 Kepekatan awal pada bahan dijerap dalam larutan
- k Kadar pemalar pada penjerapan
- K' Kadar pemalar pada 'desorption'
- K Kadar pemalar pada penjerapan per kadar pemalar pada 'desorption'
- M Jisim karbon dalam botol
- q kapasiti penjerapan
- q_e Kepekatan akhir pada pencemaran dalam karbon
- q_i Kepekatan awal pada larutan pencemar
- Q_m Jumlah maksimum larutan yang boleh dijerap
- V Isipadu sampel



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan

Pada amnya, pewarna reaktif adalah mengandungi kumpulan seperti azo, 'anthraquinone', 'pathalocyanine', 'formazine' sebagai kromofor (Joo *et al.*, 2005). Di antara pewarna reaktif, anggaran mempunyai 66% adalah tidak dilogamkan oleh pewarna azo (Cooper, 1995). Pewarna reaktif bertindak balas dengan kumpulan berfungsi pada fiber di bawah pengaruh haba dan alkali (Joo *et al.*, 2005). Salah satu faktor utama untuk menentukan perbebasan pewarna dalam persekitaran adalah darjah penambahan pada fiber (Joo *et al.*, 2005).

Pewarna reaktif telah dikelaskan dalam bahan yang mempunyai warna yang tinggi, terutamanya digunakan di dalam mewarnakan tekstil. Pewarna ini akan melekatkan pada tekstil melalui tindak balas kimia yang akan bentuk ikatan kovalen di antara molekul pewarna dan fiber. Apabila pewarna ini dilekat pada tekstil, ia akan amat susah disingkirkan. Terdapat beberapa proses yang mempunyai kebolehan untuk



menyingkirkan pewarna reaktif dengan efisien. Di antaranya, pengoksidaan Kimia dan biologi, penggumpalan kimia, pengapungan buih, eletrolisis, penjerapan, biodegradasi dan lain-lain (Fofgas *et al.*, 2004).

Kehadiran pewarna reaktif yang mempunyai kepekatan sangat rendah (kurang daripada 1mg l^{-1}) dalam air kumbahan mempunyai keadaan nyata yang tinggi dan boleh diabaikan (Lee *et al.*, 2006). Pewarna reaktif ini adalah lebih diragui dibandingkan dengan bentuk pewarna yang lain (Vandevivere *et al.*, 1998) dan perlu disingkirkan dengan penuh dari air kumbahan (Lee *et al.*, 2006).

Berbandingan dari segi estetik, pewarna sintetik ini menyebabkan pencemaran persekitaran (Lee *et al.*, 2006), ini adalah bertoksik terhadap organisma akuatik dan berbahaya dengan kesihatan manusia (Lee *et al.*, 2006). Dengan itu penyingkiran pewarna reaktif dari air kumbahan adalah persaingan persekitaran dan ini perlu mengadakan proses yang berkesan untuk menyingkirkan pewarna ini dengan berkesan (Lee *et al.*, 2006).

Didapati proses biologi adalah kurang berkesan dalam menyinkirkan sintesis pewarna yang dijangkakan pada struktur kompleks, saiz molekul dan sifat (Jiang *et al.*, 1994). Sel yang diserap didapati adalah berkadar songsang pada kumpulan sulfonat (Carliell *et al.*, 1995). Proses pengoksidaan lanjutan ($\text{H}_2\text{O}/\text{UV}$, O_3) pula mempunyai potensi untuk menyingkirkan karbon organik dalam air. Tetapi kos yang



digunakan amat tinggi dan hanya berkesan pada kepekatan yang amat rendah sahaja dengan pewarna organik.

Proses penggumpalan adalah digunakan dengan meluas dalam pemulaan proses perawattan dan selepas perawatan, dan ini diguna dengan sepenuhnya untuk menyingkirkan pewarna (Papic *et al.*, 2004). Tetapi dalam proses ini juga mempunyai had yang tertentu iaitu proses ini kurang berkesan dengan masalah bergabung pada pembuangan lumpur tebal.

Proses penjerapan pula adalah proses yang sangat bergantung pada fenol dan natrium benzensulfonat pada pH dan ini juga akan mengurangkan keberkesanan apabila garam ditambahkan. Proses hanya berkesan pada kepekatan yang rendah dalam julat pH di mana ion dan saiz kepekatan boleh dibandingkan. Selain itu, proses penjerapan pada molekul bentuk ionik dengan elektrolit yang lemah dalam larutan akueus. Pengaruh pH dalam berkesanan pada penjerapan karbon adalah bergantung pada sifat bahan jerapan.

Dengan itu, penyelidikan ini telah menguji penyingkiran warna pewarna reaktif dengan proses penggumpalan dan penjerapan. Proses penjerapan pada karbon aktif adalah terbukti teknologi yang berkesan untuk menyinkirkan bahan organik dalam air kumbahan.



1.1 Objektif Kajian

- a. Objektif kajian ini adalah untuk menguji proses penggumpalan dan penjerapan terhadap penyingkiran pewarna reaktif yang ditentukan.
- b. Untuk mnguji pergabungan kedua-dua proses penggumpalan dan proses penjerapan untuk menyingkirkan pewarna reaktif
- c. Membandingkan keberkesanan proses-proses ini berdasarkan peratusan penyingkiran pewarna reaktif dalam kajian.

1.2 Skop Kajian

Eksperimen ini telah mengujikan keberkesanan dalam proses penggumpalan individu, proses penjerapan individu dan proses penggumpalan-jerapan terhadap pewarna yang dipilih iaitu pewarna biru (blue brilliant R) yang mempunyai panjang gelombang 592 nm. Dalam proses penggumpalan, bahan penggumpal yang terpilih adalah alum klorida, $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yang mempunyai jisim molekul relatif 241.45. Untuk proses penjerapan individu, bahan penjerap yang terpilih dalam pengujian ini adalah serbuk karbon teraktif (PAC). Bahan penggumpalan dan bahan penjerap yang sama digunakan untuk proses penggumpalan-jerapan. Dalam kajian ini, serapan diambil dari UV-VIS pada setiap sampel untuk mendapatkan kepekatan pewarna pada keputusan akhir.



BAB 2

ULASAN LITERATUR

2.1 Jenis-jenis Pewarna

2.1.1 Pewarna Asid

Pewarna asid adalah pewarna anionik yang boleh dilarut dalam air (Capar *et al.*, 2006). Kromofornya adalah azo (termasuk kompleks logam separa kromium), antrakuinon, trifenilmetana, azina, xantena, nitro dan nitroso (Grant, 1991).

Pewarna ini biasanya mengubahsuaikan akrilik fiber dari neutral kepada kolam pewarna berasid (Burkinshaw *et al.*, 2001). Ini juga digunakan untuk mewarna fiber seperti kain sutera, kain bulu biri-biri (wool), nilon (Burkinshaw *et al.*, 2001). Pelekatan pada fiber adalah disifatkan, ini terdapat sebahagian dalam pewarna akan membentuk garam di antara kumpulan anionik dan kumpulan kationik dalam fiber. Pewarna asid adalah tidak tetap pada fiber selulosa. Pewarna asid digunakan pada komersial dan studio pewarna yang biasa digunakan untuk sintetik serta mewarna

protein/fiber haiwan seperti bulu biri-biri, sutera, mohair, angora, alpaca dan nilon. Pewarna asid juga digunakan sebagai asid seperti cuka, asidik, asid sulfurik untuk menyediakan warna.

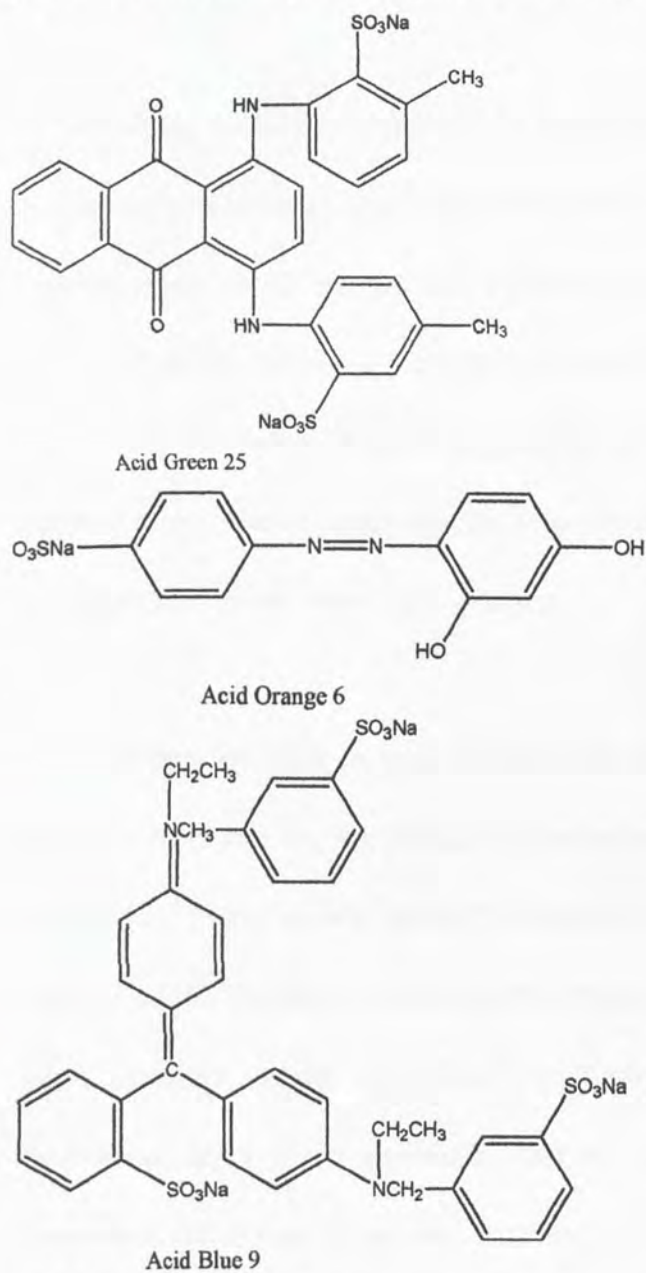
Pewarna asid ini kebanyakan dipandang sebagai pewarna yang kaustik berasid kuat. Pada sebenarnya pewarna asid ini adalah tak kaustik, kebanyakan kesnya adalah tak bertoksik dan biasanya dipanggil sebagai asid keras yang digunakan dalam proses mewarna. Ia juga akan membentuk fiber daripada jenis-jenis perikatan pewarna. Ada juga pewarna asid yang lebih bertoksik dan akan menyebabkan kanser jika ia membentuk aromatik amina (Capar *et al.*, 2006). Selain itu, juga mempunyai pewarna yang selamat digunakan dan dijual sebagai pewarna makanan.

Kebanyakan pewarna berhistlogik diklasifikasikan sebagai pewarna asid atau pewarna bes. Pewarna asid wujud dalam anion yang bercas negatif dalam larutan (Capar *et al.*, 2006). Manakala, pewarna bes adalah wujud sebagai kation yang bercas positif dalam larutan. Misalnya, hematoksilin-eosin berlumuran, logam kompleks hematoksilin bertindak sebagai pewarna bes, eosin pula bertindak sebagai pewarna asid. Terdapat sekumpulan pewarna dikelaskan sebagai pewarna yang mengandungi kumpulan asidik, seperti garam natrium pada asid sulfurik dan kumpulan fenolik (Capar *et al.*, 2006). Ini adalah lebih melarut dan kurang nilai tinctorial berbanding dengan pewarna berbes, tetapi ia juga mempunyai kebaikan



dengan lebih menahan cahaya dari melunturkan warna. Pewarna tidak membentuk 'lake' dengan tannin. Pewarna asid digunakan dalam mewarna kulit (leather), kertas.

Contoh-contoh pewarna asid iaitu 'Acid Green 25', 'Acid Orange 6' dan pewarna 'Acid Blue 9' yang mempunyai stuktur seperti rajah 2.1.



Rajah 2.1 Contoh-contoh pewarna asid

2.1.2 Pewarna Bes

Pewarna bes adalah bersifat kationik yang boleh larut dalam air. Kromofornya adalah trifenilmetana, metina, antrakuinon, diazokarbosianina, sianina, hemesianina, diazahemisianina, difenilmetana, azina, xantena, akritina dan aksazina (Grant, 1991).

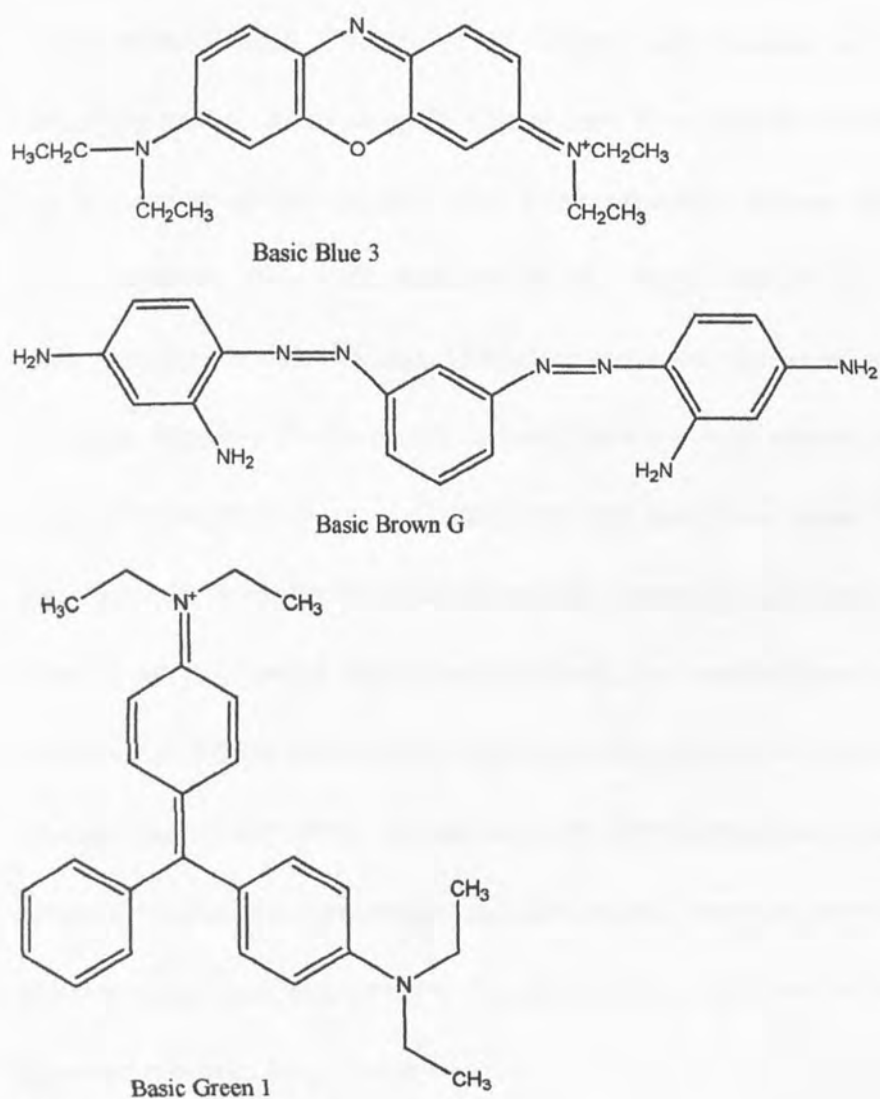
Pewarna bes adalah mengandungi kumpulan berfungsi yang berbes seperti amida. Pewarna bes akan ditarik terus dengan asidik seperti ia dapat di dalam bulu biri-biri, sutera, akrilik dan poliester. Pewarna ini digunakan dalam mewarna kapas dan kertas selepas selulosa dipedih dengan tannin. Pewarna bes menghasilkan warna yang terang dan mudah dilunturkan, tetapi ia boleh dibaiki dengan menggunakan pedihan tannin. Walau bagaimanapun, ia masih digunakan dalam mewarna kertas dan sutera disebabkan warna yang terangnya.

Pewarna bes juga digunakan dalam mewarna pelbagai jenis bahan seperti pewarna Auramina O, Rhodamina B dan Safranin O adalah digunakan dalam berlumuran biologi dalam makmal biomedical (Stephen Inbaraj *et al.*, 2006). Sebagai contoh, Auramina O yang dicampur dengan Rhodamina B adalah digunakan untuk 'fluoresce asid-fast organinsme' dan dicampurkan dengan Safranin O untuk berlumuran spora dalam pembiakan bakteria. Isipadu pada larutan berlumuran digunakan dalam makmal adalah relatif kecil, kepekatan tinggi pada pewarna ini dalam keputusan berlumuran dalam air kumbahan dengan bertoksik tinggi, lut sinar



cahaya rendah dan mengandungi bahan organik yang tinggi (Stephen Inbaraj *et al.*, 2006).

Contoh-contoh pewarna bes yang ditunjukkan pada rajah 2.2 iaitu pewarna 'Basic Blue 3', 'Basic Brown G' dan 'Basic Green 1'. Pewarna-pewarna ini mempunyai stuktur:



Rajah 2.2 Contoh-contoh pewarna bes

2.1.3 Pewarna Terus

Pewarna terus adalah bersifat anionik dan boleh larut dalam air. Kromofornya adalah azo (termasuk kompleks kuprum), stilbena, ftalosianina, dan aksazina (Grant, 1991).

Pewarna ini adalah jenis pewarna yang dicampur dalam kesemua pewarna seperti Radioiodinated Triolein (RIT). Warna bagi pewarna ini lebih pudar berbanding dengan warna yang dilengkapi oleh fiber pewarna reaktif. Kelebihan bagi pewarna ini adalah warnanya lebih susah dilunturkan dengan terjemur dengan cahaya matahari iaitu agak menahan sinaran cahaya berbanding dengan fiber pewarna reaktif. Pewarna ini juga diklasifikasikan dalam sistem indeks warna yang merujuk kepada pelbagai planar, ia mempunyai konjugat struktur molekul yang tinggi dan mengandungi satu atau lebih kumpulan anionik sulfurnate. Molekul yang dapat larut dalam air adalah disebabkan oleh kehadiran kumpulan sulfurnate ini. Pewarna ini juga wujud dalam bentuk serbuk, ini meningkatkan popular untuk menerimanya sebagai cecair pekat. Kelebihan pekat pewarna ini adalah lebih mudah dihandal dan mudah diukur dengan meter. Ia juga mengandungi kelemahan iaitu bahan permukaan aktif (surfactants) dan pelarut perlu menahan kestabilan kepekatan pewarna yang memasuk campur dengan penahan, dan saiz dalam tahap kes diwarnakan dengan sangat dalam.

Pewarna ini juga digunakan dalam fiber selulosa seperti kapas, rayon dan kain linen (Bae *et al.*, 2005). Ini kekurangan kekekalan pada fiber pewarna reaktif dalam air sejuk, di mana paling banyak pewarna dipilih untuk digunakan dalam fiber selulosa (Bae *et al.*, 2005), tetapi terdapat beberapa kebaikan dalam menggunakannya iaitu digunakan dengan berfaedah. Contohnya, kebanyakan pewarna ini kurang menahan apabila dijemur oleh cahaya, tetapi terdapat beberapa pewarna yang dikelaskan kepada yang lebih menahan cahaya yang mempunyai warna sama seperti dengan fiber pewarna reaktif. Kesemua pewarna ini agak lemah menahan pencuci iaitu warna akan diluntur selepas dicuci. Tanpa mempunyai perawatan-selepas yang sesuai, warna pada pewarna ini akan terluntur dengan perlahan-perlahan dengan setiap kali mencucinya, ini juga akan menyebabkan warna semakin kurang jelas. Dengan itu perawatan yang sesuai harus digunakan untuk menyelesaikan masalah ini.

Pewarna terus biasanya adalah pewarna azo dengan hampir serupa dengan pewarna berasid (Feiz *et al.*, 2006). Pewarna ini juga mengandungi kumpulan berfungsi sulfurnat, tetapi dalam kes ini, kumpulan sulfurnat hanya untuk meningkatkan kelarutannya sahaja (Feiz *et al.*, 2006), sebagai cas negatif pada pewarna ini, fiber akan menolak antara satu sama lain. Pada bentuk rata dan panjang pula membolehkan ia terlekat di sepanjang tepi fiber selulosa dan akan memaksimumkan daya Van-der waals, keketuban dan ikatan hidrogen.



RUJUKAN

- Akkaya, G., Uzun, I. dan Guzel, F., 2006. Kinetics of the adsorption of reactive dyes by chitin. *Dyes and Pigments* **73**, 168-177.
- Bae, J. S. dan Harold, S. H., 2005. Aquatic toxicity evaluation of new direct dyes to the *Daphnia magna*. *Dyes and Pigments* **73**, 81-85.
- Burkinshaw, S. M. dan Young, A. S., 2001. The aftertreatment of acid dyes on nylon 6,6 fibers: Part 1. 1:2 pre-metallised acid dyes. *Dyes and Pigments* **48**, 57-69.
- Capar, G., Yetis, U. dan Yilmaz, L., 2006. Membrane based strategies for the pre-treatment of acid dye bath wastewaters. *Journal of Hazardous Materials* **B135**, 423-430.
- Carliell, C. M., Barclay, S. J., Naidoo, N., Buckley, C. A., Mulholland, D. A., dan Senior, E., 1995. Microbial decolonization of reactive azo dye under anaerobic condition. *Water (SA)* **21**, 61-69.
- Chung, H. W., 2006. Adsorption of reactive dye onto carbon nanotubes: equilibrium, kinetics and thermodynamics. *Department of Environmental Engineering*, 1-37.



Cooper, P., 1995. Color in dyehouse influent. *The dye maker's view*. Alden press, Oxford.

Edward, D. dan Benjamin, M. M., 1989. Regeneration and Reuse of Iron Hydroxide Adsorbents in Treatment of Metal-Bearing Waste. *J. Water Pollution Control Federation* **61**(4), 481-490.

Feiz, M., Mallakpour, S. dan Azizollahi, M. A., 2006. Aftertreatment of direct dyes on wool and nylon 6 with syntans and a syntan/cationic system. *Dyes and Pigments* **01**, 1-4.

Flick, E. W., 1991. *Water Treatment Chemicals: An Industrial Guide*, Noyes Publications, Park Ridge, NJ.

Forgas, E., Cserhati, T. dan Oros, G., 2004. Removal of synthetic dyes from wastewater: a review. *Environ Int* **30**, 953-971.

Grant, M. H., 1991. *Encyclopedia of chemical technology*. Vol 8 (4th Edition). United States: A Wiley-Interscience Publication.

Guibal, L. dan Gregory, J., 1991. Flocculation and sedimentation of high-turbidity waters. *Water Reseach* **25**(9), 1137-1143.



- Hanson, A. T. dan Cleasby, J. L., 1990. The effects of temperature on turbulent flocculation: Fluid dynamics and chemistry. *J. American Water Work Association* **82**(11), 56-73.
- Jiang, H. dan Bishop, P. L., 1994. Aerobic biodegradation of azo dyes in biofilms. *Water Sci Technol* **29**, 289-230.
- Joo, D. J., Shin, W. S., Choi, J. H., Choi, S. J., Kim, M. C., Han, M. H., Ha, T. W. dan Kim, Y. H., 2005. Decolorization of reactive dyes using inorganic coagulants and synthetic polymer. *Dyes and Pigments* **18**, 1-6.
- Lee, J. W., Choi, S. P., Thiruvengkatachari, R., Shim, W. G. dan Moon, H., 2006. Evaluation of the performance of adsorption and coagulation processes for the maximum removal of reactive dyes. *Dyes and Pigments* **69**, 196-203.
- Letterman, R. D. dan Driscoll, C. t., 1998. Survey of Residual Aluminium in Filtered Water. *J. American Water Work Association* **80**(4), 154-158.
- Miller, R. G., Kopfler, F. C., Kelty, K. C., Stober, J. A. dan Ulmer, N. S., 1984. The Occurrence of Aluminium in Drinking Water. *J. American Water Works Association* **76**(1), 84-91.



Narbaitz, R. M., 1985. *Modelling the Competitive Adsorption of 1,1,2-trichloroethane with Naturally Occuring Background Organics onto Activated Carbon*. Ph. D. Thesis, McMaster University, Hamilton, ON.

Novita, E., 2001. Optimasi Proses Koagulasi Flokulasi pada Limbah Cair yang Mengandung Melanoidin. *Ilmu dasar* 2(1), 61-67.

Okada, Y., Sugane, S., Watanabe, A. dan Morita, Z., 2006. Color variations of anthraquinone and azo reactive dyes on cellulose caused by nitrogen oxides under wet conditions. *Dyes and Pigments*, 23, 1-11.

Papic, S., Koprivanac, N., Loncaric Bozic, A. dan Metes, A., 2004. Removal of some reactive dyes from synthetic wastewater by combined Al(III) Coagulation/ carbon adsorption process. *Dyes and Pigments* 62, 291-298.

Ronald, L. dan Droste, 1997. *Theory and practical of water and wastewater treatment*. John Willey & Sons, Inc, 385-391.

Shaul, G M., Holdsworth, T. J., Dempsey C. R. dan Dostal, K. A., 1991. Fate of water soluble azo dyes in activated sludge process. *Chemosphere* 22, 107-119.



- Singer, P. C., 1990. Assessing Ozone Research Needs in Water Treatment. *J. American Water Work Association* **82**(10), 78-88.
- Sorial, G. A., Suidan, M. T., Vidic, R. D. dan Brenner, R. C., 1993. Effect of GAC Characteristics on Adsorption Organic Pollutants. *Water Environmental Research* **65**(1), 53-57.
- Stephen Inbaraj, B., Chien, J. T., Ho, G. H., Yang, J. dan Chen, B. H., 2006. Equilibrium and kinetics studies on sorption of basic dyes by a natural biopolymer poly(γ -glutamic acid). *Biochemical Engineering Journal* **31**, 204-215.
- Stumm, M., Huper, H. dan Champlin, R. L., 1967. Formulation of Polysilicates as Determined by Coagulation Effects. *Environmental Science and Technology* **1**(3), 221-227.
- Vandevivere, P. C., Bianchi, R. dan Verstrete, W., 1998. Treatment and reuse of wastewater from wet-processing industry: review of emerging technologies. *J. Chem Technol Biotechnol* **72**, 289-302.

