

KESAN PARAMETER OPERASI TERHADAP DEGRADASI
MALAKIT HIJAU OKSALAT DALAM SISTEM TiO₂/UL

JANET SEAH KWEE LING

TESISINI DIKEMUKAKAN UNTUK MEMENUHI SEBAHAGIAN DARIPADA
SYARAT MEMPEROLEHI IJAZAH SARJANA MUDA SAINS DENGAN
KEPUJIAN

PROGRAM KIMIA INDUSTRI
SEKOLAH SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

FEB 2005



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

BORANG PENGESAHAN STATUS TESIS@

JUDUL: KESAN PARAMETER OPERASI TERHADAP DEGRADASI MALAKIT HIJAU OKSALAT DALAM SISTEM TiO₂/IL

Ijazah: IJAZAH SARJANA MUDA SAINS DENGAN KEPUTIAN

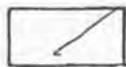
SESI PENGAJIAN: 2005

Saya JANET SEAH KWE E LING

(HURUF BESAR)

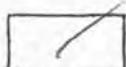
mengaku membenarkan tesis (LPS/Sarjana/Doktor Falsafah)* ini disimpan di Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut:

1. Tesis adalah hak milik Universiti Malaysia Sabah.
2. Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dibenarkan membuat salinan untuk tujuan pengajian sabaja.
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

Disahkan oleh

Janet
(TANDATANGAN PENULIS)

(TANDATANGAN PUSTAKAWAN)

Alamat Tetap: 3, Lorong dua,

En. Moh. Pak Yan

JLN RAMBUTAN, TMN SENTOSA, 84000 MUAR

Nama Penyelia

Tarikh: 22/3/05 JOHOR

Tarikh: 22/3/05

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).

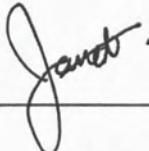


UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

PENGAKUAN

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

21 Feb 2005



JANET SEAH KWEE LING

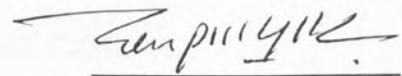
HS2002-3727



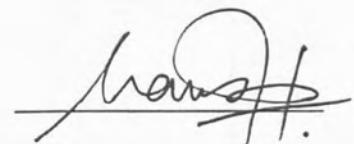
UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

DIPERAKUKAN OLEH**Tandatangan****1. PENYELIA**

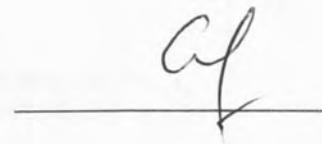
(EN. MOH PAK YAN)

**2. PEMERIKSA 1**

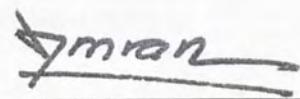
(PROF. MADYA DR. MARCUS JOPONY)

**3. PEMERIKSA 2**

(EN. COLLIN GLEN JOSEPH)

**4. DEKAN**

(PROF. MADYA DR. AMRAN AHMED)

**UMS**

PENGHARGAAN

Sebelum projek ini dapat disiapkan dengan lengkap, banyak rintangan yang perlu dihadapi. Namun semua ini dapat diatasi dengan bantuan daripada pelbagai pihak.

Saya ingin menggunakan kesempatan ini untuk mengucapkan ribuan terima kasih kepada penyelia saya iaitu, En. Moh Pak Yan yang membantu saya dengan banyak memberi tunjuk ajar cara menulis ilmiah dengan baik dan menyediakan tempat di makmal untuk menjalankan amali.

En. Sani, pembantu makmal kimia industri juga memainkan peranan penting kerana beliau telah menyediakan bahan kimia dan peralatan makmal. Ini membolehkan kerja amali dijalankan dengan lancar.

Akhirnya, tidak dilupakan rakan-rakan yang berkongsi idea dan bertolak ansur dalam mengharungi rintangan. Terutamanya, Pang Wui Ying, Tan Shir Lyn, dan Lau Chin Choo. Jasa mereka akan sentiasa dikenang. Ahli keluarga yang sentiasa memberi sokongan moral dan nasihat serta segala bantuan yang tidak terhingga.

Abstrak

Degradasi secara pemungkinanfoto bagi larutan Malakit Hijau Oksalat (MHO) yang melibatkan sistem TiO₂/UL telah dikaji pada suhu berlainan, kuantiti TiO₂.dan panjang gelombang ultralembayung. Keputusan menunjukkan suhu tidak mempunyai kesan yang ketara terhadap proses degradasi MHO. Penambahan suhu dari julat 25 hingga 60 ° C meningkatkan kadar degradasi MHO tetapi tidak menambahkan keberkesanan degradasi. Kuantiti TiO₂ 2.0gL⁻¹ paling efektif dalam sistem ini tetapi 0.5gL⁻¹ dipilih kerana kos operasi yang lebih ekonomi. Ultralembayung UL-A lebih berkesan daripada UL-C dalam proses degradasi. Secara keseluruhannya, degradasi larutan MHO dengan kepekatan 2×10^{-4} molL⁻¹ pada pH 2 dalam sistem TiO₂/UL yang paling optimum adalah pada suhu bilik dengan penggunaan 0.5gL⁻¹ TiO₂ dan panjang gelombang ultralembayung 320 hingga 400nm (i.e. UL-A).



Abstract

Photocatalytic degradation of Malachite green Oxalate (MGO) solution using TiO₂/UV systems have been investigated at different temperature, TiO₂ dosage and ultraviolet wavelength. The results showed that temperature no obvious effect on degradation of MGO. Increase of temperature from 25 to 60 ° C increased the rate of MGO degradation but did not raise degradation efficiency. TiO₂ doses of 2.0gL⁻¹ produced the most effective system, nevertheless 0.5gL⁻¹ TiO₂ was chosen for its more economic operational cost. Ultraviolet UV-A was more effective than UV-C in the degradation process. In general, the most optimum condition for degradation of MGO solution in TiO₂/UV system of concentration 2×10^{-4} molL⁻¹ at pH 2 was at room temperature with TiO₂ dosage 0.5gL⁻¹ and ultraviolet wavelength of 320 to 400nm (i.e. UV-A).

KANDUNGAN

	Muka Surat
PENGAKUAN	ii
DIPERAKUKAN OLEH	iii
PENGHARGAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
SENARAI KANDUNGAN	vii
SENARAI JADUAL	x
SENARAI RAJAH	xi
SENARAI FOTO	xii
SENARAI SIMBOL	xiii
BAB 1 PENGENALAN	1
1.1 PERAWATAN AIR SISA-PROSES PENGOKSIDAAN	
BERTAHAP TINGGI (ADVANCED OXIDATION PROCESS, AOP)	1
1.2 OBJEKTIF KAJIAN	4
1.3 SKOP KAJIAN	5
BAB 2 ULASAN LITERATUR	6
2.1 SINARAN ELEKTROMAGNET	6
2.1.1 Sifat-sifat Gelombang Sinaran Elektromagnet	6
2.1.2 Sinaran Ultralembayung	8



2.1.3	Cahaya Nampak Dan Warna Objek	10
2.2	PENYERAPAN TENAGA OLEH MOLEKUL	11
2.3	PRINSIP SPEKTROSKOPI	15
2.4	PEWARNA	16
2.4.1	Kromofor Azo	18
2.4.2	Pewarna Bes Dan Jenis-jenis Pewarna	18
2.5	PROSES PENGOKSIDAAN BERTAHAP TINGGI	22
2.5.1	Radikal Hidroksil	24
2.5.2	Pemangkinanfoto – TiO ₂ /UL	25
2.5.3	Kebaikan Titanium Dioksida	26
2.5.4	Mekanisme Pengoksidaan Pemangkinanfoto	27
2.6	SUHU DAN HABA	29
BAB 3	RADAS DAN KAEDAH	30
3.1	PENGENALAN	30
3.2	REAGEN KIMIA	30
3.3	PERALATAN	31
3.4	PENYEDIAAN LARUTAN STOK MGO	32
3.5	PENCAIRAN LARUTAN STOK	33
3.6	METODOLOGI	34
3.7	ANALISIS DATA	37
3.7.1	Nilai Keserapan Cahaya UL-Nampak	37
3.7.2	Peratus Degradasi Larutan MGO	38

3.7.3 Tertib TIndak Balas dan Pemalar Kadar	39
BAB 4 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	42
4.1 PENGENALAN	42
4.2 KESAN SUHU	43
4.3 KESAN KUANTITI MANGKINFOTO TiO ₂	48
4.4 KESAN PANJANG GELOMBANG ULTRALEMBAYUNG	51
BAB 5 KESIMPULAN	56
5.1 KESIMPULAN	56
5.2 KAJIAN MASA DEPAN	57
RUJUKAN	59
LAMPIRAN	68



SENARAI JADUAL

No. Jadual	Muka Surat
2.1 Jenis ultralembayung (UL) dan ciri	9
2.2 Jenis-jenis pewarna dan keterangan	21
2.3 Keupayaan pengoksidaan spesis radikal berbanding dengan pengoksida molekul biasa	23
3.1 larutan MHO dengan kepekatan 2×10^{-4} molL ⁻¹ pada pH 2 dalam sistem TiO ₂ /UL dengan parameter operasi yang berlainan	36
3.2 Data yang ditafsirkan daripada Rajah 3.2	41
4.1 Peratus degradasi, D_{Abs} (%) dan pemalar kadar, k bagi larutan MHO dalam sistem TiO ₂ /UL dengan parameter operasi yang berlainan dalam masa 2 jam	43
4.2 Kiraan nombor foton dengan menggunakan lampu panjang gelombang ultralembayung (UL) jenis UL-A dan UL-C	55



SENARAI RAJAH

No. Rajah	Muka Surat
2.1 Diagram aras tenaga	13
2.2 Aras dan peralihan tenaga elektronik	14
2.3 Pewarna Michler's hidrol	19
2.4 Struktur Malakit hijau (<i>C.I. Basic Green 4</i>)	20
2.5 Struktur Malakit Hijau Oksalat	20
2.6 Pengelasan AOP	24
3.1 Susunan radas eksperimen	34
3.2 Contoh sampel eksperimen	38
3.3 (a) Peratusan degradasi dan (b) Kadar degradasi larutan MGO berasaskan sistem TiO_2/UL	41
4.1 Peratus degradasi bagi larutan MHO pada suhu yang berlainan dalam sistem TiO_2/UL .	44
4.2 Lakaran graf kadar tindak balas, k melawan suhu (Kelvin) dalam julat $\theta > 80^\circ C$, $20^\circ C \leq \theta \leq 80^\circ C$ dan $-40^\circ C \leq \theta \leq 0^\circ C$	46
4.3 Peratus degradasi larutan MHO yang dikaji dalam TiO_2/UL sistem dengan kuantiti TiO_2 yang berlainan	49
4.4 Lakaran graf kadar tindak balas, k melawan jisim (m) pemungkinan foto TiO_2	51
4.5 Peratus degradasi bagi larutan MHO dengan panjang gelombang ultralembayung UL-A dan UL-C dalam kuantiti TiO_2 yang berlainan dalam sistem TiO_2/UL .	52
4.6 Kadar kinetik tindak balas bagi larutan MHO dengan panjang gelombang ultralembayung UL-A dengan kuantiti TiO_2 berlainan dalam sistem TiO_2/UL	53
4.7 Kadar kinetik tindak balas bagi larutan MHO dengan panjang gelombang ultralembayung UL-C dengan kuantiti TiO_2 berlainan dalam sistem TiO_2/UL .	53



SENARAI FOTO

No. Foto	Muka Surat
3.1 Malakit Hijau Oksalat (MHO)	31
3.2 Titanium (IV) dioksida	31
3.3 Alat pengempar	32
3.4 Spektrofotometer UL-nampak	32
3.5 Susunan radas eksperimen (a) foto-reaktor tanpa kukus air dan (b) foto-reaktor dalam kukus air	35

**UMS**
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

SENARAI SIMBOL

MHO	Malakit Hijau Oksalat
λ	panjang gelombang
v	frekuensi
E	tenaga foton
h	pemalar <i>Planck</i>
c	halaju cahaya
n	nombor foton
I_0	keamatan cahaya tuju ke atas sel sampel
I	keamatan cahaya yang meninggalkan sel sampel
c	kepekatan molar zat terlarut
l	panjang sel sampel (cm)
ϵ	keterserapan molar
T	pemancar (<i>Transmittance</i>)
A	keserapan atau ketumpatan optik
M_1	kepekatan larutan stok
M_2	kepekatan larutan tindak balas
V_1	isipadu larutan stok
V_2	isipadu larutan tindak balas
Abs	keserapan
E_a	tenaga pengaktifan nyata
R	pemalar konstant
A	faktor praekspresi
k	kadar tindak balas
T	suhu (Kelvin)
P	kuasa (Watt)
t	masa (saat)



BAB 1

PENGENALAN

1.1 PERAWATAN AIR SISA – PROSES PENGOKSIDAAN BERTAHAP TINGGI (ADVANCED OXIDATION PROCESS, AOP)

Industri pewarna tekstil dan bahan pewarna lain adalah pengeluaran pewarna terbesar di Amerika Syarikat dan di dunia (Vinodgopal *et al.*, 1996). Semasa proses pembuatan pewarna, sebahagian pewarna tekstil ini dialir keluar dan disingkirkan sebagai kumbahan ke tapak rawatan air. Kumbahan ini diproses kepada ketulan lumpur (*sludge cake*) dan dimendakkan ke kawasan tambak tanah (*landfill*). Dalam kesemua kelas pewarna, pewarna jenis azo adalah bahan pencemar yang utama dan memberi kesan buruk kepada ekosistem persekitaran (Vinodgopal *et al.*, 1996). Kumbahan pewarna tekstil ini mempunyai pH yang tinggi dan tidak stabil, permintaan oksigen kimia (COD) yang tinggi dan kehadiran pepejal terampai. Selain itu, terdapat juga logam berat yang banyak seperti Cr, Ni dan Cu, sebatian organik klorin serta surfaktan (*surfactants*) (Cisneros *et al.*, 2002).



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SARAWAK

Lebih 7×10^5 tan pewarna tekstil telah dihasilkan setiap tahun di seluruh dunia (Spadaro *et al.*, 1994; Tang dan An, 1995). 20% daripada jumlah hasilan pewarna sintetik dunia mengalir keluar sebagai kumbahan semasa proses pembuatan pewarna. (Lachheb *et al.*, 2002; Silva dan Faria, 2003). Penyingkiran pewarna dari air sisa lebih diberi perhatian daripada bahan organik tak berwarna lain kerana kehadiran sejumlah kecil pewarna (di bawah 1 ppm) adalah jelas kelihatan dan boleh menyebabkan gangguan kepada sistem ekologi penerimaan air. (Neppolian *et al.*, 2001; Daneshvar *et al.*, 2003). Pewarna ini mudah mengalami penurunan di bawah keadaan anaerobik dan membentuk sebatian amina aromatik yang bahaya. Weber *et al.* telah mengkaji penurunan pewarna azo serakan dalam sendimen anoksik (*sediment anoxic*) semulajadi dan menunjukkan pewarna ini boleh menyebabkan mutasi gen. (Vinodgopal *et al.*, 1996).

Daripada pewarna yang ada di pasaran hari ini, kira-kira 60-70% adalah sebatian pewarna azo diikuti kumpulan anthraquino (Pinheiro *et al.*, 2004). Pewarna-pewarna azo dibahagi kepada kelas monoazo, disazo, trisazo berdasarkan kepada kehadiran satu atau lebih ikatan azo (-N=N-) dan didapati dalam pelbagai kategori, misalnya pewarna asid, bes, terus, serakan dan pigmen. (Konstantinou dan Albanis, 2004).

Beberapa kajian telah dilakukan berkaitan isu rawatan kumbahan pewarna secara biologi, fizikal dan kimia. Rawatan biologi pewarna azo, biasanya kurang berkesan kerana ketahanan pewarna ini kepada penguraian aerobik. Selain itu, kaedah

ini berupaya menghasilkan sebatian amina aromatik yang menyebabkan penyakit barah. Kaedah fizikal seperti penggumpalan, osmosis berbalik dan penyerapan karbon teraktif adalah bersifat tidak berupaya untuk menguraikan pewarna ini tetapi hanya memindahkan bahan cemar ini kepada medium lain seperti udara dan menyebabkan pencemaran sekunder. Penguraian pewarna dengan kaedah kimia boleh dijalankan dengan menggunakan klorin pada ozon. Rawatan kimia ini memperoleh hasil keputusan yang baik dalam penyingkiran warna dan bahan organik, tetapi dos klorin yang diperlukan adalah terlalu tinggi, maka adalah tidak ekonomi (Styliidi *et al.*, 2003).

Kesedaran masyarakat semakin meningkat mengenai bahan pencemar ini terhadap alam sekitar dan suatu kawalan alam sekitar antarabangsa yang lebih ketat ISO 14001, Oktober 1996 menyebabkan perlunya bagi memperkembangkan kaedah rawatan yang lebih berkesan untuk menukar bahan cemar organik, seperti kumbahan yang mengandungi pewarna kepada sebatian yang tidak berbahaya (Styliidi *et al.*, 2003). Kaedah rawatan ini ialah pemangkinan foto heterogen berdasarkan Proses Pengoksidaan Bertahap Tinggi (Advanced Oxidation Processes, AOPs) dengan TiO_2 yang diaktifkan oleh foton dengan panjang gelombang kurang daripada 390nm (Machado *et al.*, 2002).

Kebaikan utama AOPs adalah tidak melibatkan pemindahan bahan cemar dari satu medium kepada medium yang lain (Balcioglu dan Arslan, 1997). Tetapi, kajian menunjukkan bahawa rawatan yang ekonomi adalah tidak dapat dicapai jika kepekatan bahan cemar berada di atas paras 100 ppm. Oleh itu, pencairan adalah perlu sebelum

rawatan supaya mendapat hasil rawatan yang berkesan dan ekonomi. Gabungan sistem ini adalah berfaedah demi mencapai nilai kepekatan bahan cemar piawai bagi kumbahan tekstil yang ditetapkan oleh badan perundangan (Balcioglu dan Arslan, 1997).

1.2 OBJEKTIF KAJIAN

Warna kuat sisa air tekstil merupakan kesan pencemaran yang paling teruk dalam kumbahan tekstil. Demi mencapai kualiti persekitaran, banyak kajian telah dijalankan untuk meningkatkan keberkesanan rawatan sisa air tekstil. Kajian ini menumpukan kepada penyahwarnaan Malakit Hijau Oksalat (MHO) sebagai pewarna tekstil dengan menggunakan parameter operasi berlainan, iaitu kesan suhu, kesan panjang gelombang ultralembayung dan kuantiti TiO_2 .

Kajian ini tertumpu kepada kaedah perawatan yang berdasarkan sistem TiO_2/UL untuk mendegradasi air sisa tekstil. Objektif kajian ini adalah:

- (a) Mengkaji dan menilai kesan parameter-parameter operasi yang berlainan, iaitu kesan suhu, kesan panjang gelombang ultralembayung dan kuantiti TiO_2 terhadap degradasi MHO.

- (b) Mencari keadaan optimum parameter-parameter operasi tersebut dalam TiO_2/UL .



1.3 SKOP KAJIAN

Foto-degradasi pewarna bes, Malakit Hijau Oksalat (MHO) dijalankan dengan sistem TiO_2/UL . Kajian ini dijalankan di dalam makmal dengan menggunakan foto-reaktor berbentuk silinder yang berisipadu 600mL dan larutan MHO sebagai simulasi efluen tekstil. Kajian kesan suhu, kesan kuantiti TiO_2 dan kesan panjang gelombang terhadap degradasi MHO dilakukan. Sampel dikumpul pada masa berlainan dan dianalisa di bawah UL-nampak spektrofotometer. Graf nilai keserapan (Abs) melawan masa dan graf $\ln [A]_0/[A]_t$ diplot melawan masa untuk menilai kinetik sistem TiO_2/UL .



BAB 2

ULASAN LITERATUR

2.1 SINARAN ELEKTROMAGNET

Sinaran elektromagnet atau cahaya wujud dalam bentuk tenaga yang kelakuannya boleh diterang berdasarkan sifat gelombang dan zarah. Sifat optik sinaran elektromagnet, seperti pembelauan, adalah paling baik diterangkan dengan menggambarkan cahaya sebagai suatu gelombang. Interaksi sinaran elektromagnet dengan jirim, seperti serapan dan pancaran diterangkan dengan menganggap cahaya sebagai suatu zarah, atau foton (Harvey, 2000).

2.1.1 Sifat-Sifat Gelombang Sinaran Elektromagnet

Sinaran elektromagnet mempunyai medan elektrik dan medan magnet berayun yang merambat melalui ruang sepanjang satu laluan linear dan dengan suatu halaju malar. Di dalam vakum, sinaran elektromagnet bergerak pada kelajuan cahaya, c , $2.99792 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ (Zumdahl, 1992). Sinaran elektromagnet bergerak melalui suatu medium selain melalui vakum dengan satu halaju, v , kurang daripada kelajuan cahaya di dalam

vakum. Perbezaan di antara v dan c adalah kecil (<0.1%). Kelajuan cahaya kepada 3 angka bererti, 3.00×10^8 m/s, adalah cukup tepat untuk kebanyakan tujuan (Harvey, 2000).

Ayunan dalam medan elektrik dan magnet adalah berserenjang di antara satu sama lain dan ke arah perambatan gelombang. Sinaran elektromagnet adalah tidak berkutub, dengan medan elektrik dan magnet berayun dalam semua satah yang mungkin, dalam orientasi berserenjang ke arah perambatan (Rossing dan Chiaverina, 1999).

Suatu gelombang elektromagnet, adalah diciri berdasarkan beberapa sifat-sifat asas, iaitu halaju, amplitud, frekuensi, sudut fasa, pengutuban dan arah perambatan. Panjang gelombang suatu gelombang elektromagnet, λ , adalah jarak di antara sesuatu gelombang merambat ke satah maksimum atau minimum yang berturut-turut. Bagi sinaran elektromagnet pada ultralembayung dan nampak, panjang gelombang dinyata dalam unit nanometer (nm, 10^{-9} m). Panjang gelombang berkadarana kepada halaju gelombang (Rossing dan Chiaverina, 1999). Iaitu:

$$v = \frac{c}{\lambda} \quad (\text{Dalam vakum}) \quad (2.1)$$

Di mana λ adalah panjang gelombang sinaran electromagnet dan v adalah frekuensi panjang gelombang (Harvey, 2000).

Jika suatu sampel menyerap sinaran elektromagnet, sampel itu akan mengalami pertukaran aliran tenaga. Foton adalah suatu pancaran zarah tenaga hasil daripada interaksi sesuatu bahan dengan sinaran elektromagnet. Apabila suatu foton diserap oleh sampel, foton itu dianggap bersifat “memusnah”, dan tenaga itu dihasilkan pada bahan tersebut (Harvey, 2000). Tenaga foton, dalam joule, adalah berkadar terus dengan frekuensi dan songsang dengan panjang gelombang seperti berikut:

$$E = nhv$$

$$= n \frac{hc}{\lambda} \quad (2.2)$$

dimana h adalah pemalar Planck, dengan nilai 6.626×10^{-34} J.s, v adalah frekuensi sinaran elektromagnet, c adalah halaju cahaya, λ adalah panjang gelombang sinaran dan n ialah nombor foton (Zumdash, 1992). Frekuensi dan panjang gelombang sinaran elektromagnet berubah-ubah dalam banyak bentuk magnitud. Sebagai ringkasan, sinaran elektromagnet dibahagi kepada kawasan-kawasan berlainan berdasarkan kepada jenis peralihan atom atau molekul itu yang memberi perubahan kepada serapan atau pancaran foton. Sempadan spektrum elektromagnet adalah tidak jelas dan pertindihan kawasan antara spektra barangkali berlaku (Harvey, 2000).

2.1.2 Sinaran Ultralembayung

Julat panjang gelombang sinaran ultralembayung dalam elektromagnet adalah di antara 400-10nm, dan dibahagi kepada beberapa kawasan tertentu. Keterangan peringkat

awal, kewujudan panjang gelombang ultralembayung hanya boleh ditunjukkan sehingga ke 320nm, kerana tiada gelas optik yang boleh mengalir foton kepada panjang gelombang yang lebih rendah. Pada 1862, Stokes telah menggunakan kuarza untuk mengkaji panjang gelombang UL yang lebih pendek iaitu kepada 183nm. Penurunan panjang gelombang ini diketahui kerana oksigen dan nitrogen boleh menyerap cahaya. Namun demikian, kajian yang lebih lanjut sehingga kepada 120nm dengan menggunakan optik florin dan diperhatikan di bawah spektrograf dalam vakum. Pada awal abad ini, Lyman dapat analisis spektrum solar bawah kepada 5.1nm semasa menggunakan *grating*. Jadual 2.1 menunjukkan jenis ultralembayung (UL) dan ciri jenis ultralembayung (Masschelein, 2002).

Jadual 2.1 Jenis ultralembayung (UL) dan ciri

Jenis UL	Julat	Ciri
UL-A	Dari 400 kepada 315nm	Di antara 400 dan 300nm, kadang kala dikenali UL Dekat.
UL-B	Dari 315 kepada 280nm	Kadang dikenali UL Sederhana.
UL-C	Dari 280 kepada 200nm	Julat yang dipertimbangkan lebih terperinci dalam pembersihan air.

Dalam vakum, julat sinaran ultralembayung dibahagi kepada beberapa zon dan dinamakan berdasarkan nama penemu:

Julat Schumann, dari 185 ke 120nm.

Julat Lyman, dari 120 ke 50nm.

Julat Millikan, dari 50 ke 10nm.

Di bawah 10nm, kawasan sinaran-x bermula; pada panjang gelombang yang lebih pendek (kurang 0.1nm), kawasan sinaran- γ bermula. Julat keseluruhan ultralembayung dikenali sebagai gelombang aktinik (*actinic waves*) atau gelombang kimia (*chemical waves*) (Masschelein, 2002).

2.1.3 Cahaya Nampak Dan Warna Objek

Spektrum elektromagnet yang boleh dinampak oleh manusia adalah dalam julat panjang gelombang antara 400-700nm. Cahaya boleh diserap dengan sepenuhnya, separa atau tidak diserap oleh gas, cecair atau pepejal. Bahagian yang tidak diserap boleh dipantul oleh permukaan cecair atau pepejal, atau dipancar melalui gas, cecair atau pepejal berkaca. Cahaya dihasilkan dari suatu sumber cahaya dan dipantul atau dipancar sampai ke retina mata manusia. Di sini, cahaya dengan panjang gelombang antara 400-700nm memulakan suatu tindak balas fotokimia, dan seterusnya satu siri tindak balas cahaya nampak dalam pigmen penglihatan berlaku. Dengan pemindahan maklumat di antara mata dan otak, proses ini menghasilkan pencerapan visual (Zollinger, 1991).

Taburan tenaga sinaran elektromagnet dalam julat nampak adalah sepadan dengan cahaya matahari yang sampai kepada suatu pepejal yang memantul lengkap semua cahaya nampak dan muncul sebagai warna putih. Sebaliknya, jika pepejal menyerap semua cahaya, warna hitam muncul. Jika, ia menyerap suatu pecahan cahaya malar dalam kesemua julat antara 400-700nm, warna kelabu wujud. Jika suatu jalur

RUJUKAN

- Ali Razak, Wan Azelee Wan Abu Bakar, Aris Azmi dan Moh, P. Y., 2001. Degradasi Larutan Pewarna Azo Tekstil Menggunakan Sistem Heterogenan O₃, O₃/UL, O₃/TiO₂/UL dan O₃/H₂O₂/UL. *Jurnal Teknologi* **35**, 1-16.
- Andreozzi, R., Caprio V., Insola A., dan Marotta R., 1999. Advanced Oxidation Processes (AOP) for Water Purification and Recovery. *Catalysis Today* **53** (1), 51-59.
- Atkins, P. W., 2001. *Physical Chemistry*. Ed. Ke-6. Oxford University Press, New York.
- Balcioglu, I. A. dan Arslan, I., 1997. Treatment Of Textile Waste Water By Heterogenous Photocatalytic Oxidation Processes. *Enviromental Technology* **18**, 1053-1059.
- Bhatkhande, D. S., Pangarkar, V. G. dan Beenackers, A. A. C. M., 2003. Photocatalytic Degradation of Nitrobenzene Using Titanium Dioxide and Concentrated Solar Radiation: Chemical Effects and Scaleup. *Water Research* **37**, 1223-1230.
- Brezová, V., Jankovičová, M., Soldán, M., Blažková, A., Reháková, M., Šurina, I., Čeppan, M. dan Havlínová, B., 1994. Photocatalytic Degradation of p-

toluenesulphonic Acid in Aqueous Systems Containing Powdered and Immobilized Titanium Dioxide. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: chemistry* **83**, 69-75.

Christian, G. D., 1994. *Analytical Chemistry*. Ed. Ke-5. John Wiley & Sons, Canada.

Cisneros, R. L., Espinoza, A. G. dan Litter, M. I., 2002. Photodegradation Of An Azo Dye Of The Textile Industry. *Chemosphere* **13**, 1-7.

Daneshvar, N., Salari, D. dan Khataee A. R., 2003. Photocatalytic Degradation of Azo Dye Acid Red 14 in Water: Investigation of the Effect of Operational Parameter. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: chemistry* **157**, 111-116.

Day, Jr. R. A. dan Underwood, A. L., 1980. *Quantitative Analysis*. Ed ke-4. Prentice-Hall, Inc, New Jersey, USA.

Eckenfelder, W., Bowers, A. dan Roth, J., 1992. *Chemical Oxidation Technologies*. Technomic Publishing Company. Inc, USA.

Fine, L. W., Beall, H. dan Stuehr, J., 2000. *Chemistry for Scientists and Engineers*. Thomson Learning, USA.

Fox, M. A. dan Dulay, M. T. 1993. Heterogeneous Photocatalysis. *Chemical Reviews* 93 (1), 341-357.

Harvey, D., 2000. *Modern Analytical Chemistry*. McGraw Hill Inc., Singapore.

Herrmann, J. M., 1999. Heterogeneous Photocatalysis: Fundamentals and Applications to the Removal of Various Types of Aqueous Pollutants. *Catalysis Today* 53, 115-129.

<Http://waterusgs.gov/cwq/FieldManual/chapter6/table2.6.pdf>.

Hunger, K., 2003. *Industrial Dyes: Chemistry, Properties and Applications*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.

Ince, N. H. dan Gonenc, D. T., 1997. Treatability Of A Textile Azo Dye By UV/H₂O₂. *Environmental Technology* 18, 179-185.

Isaacs, Alan., Daintith J. dan Martin E., 2003. *Oxford Dictionary of Science*. Oxford University Press Inc., New York.

Joeston, M. D. dan Wood, J. L., 1996. *World of Chemistry Ed. Ke-2*. Saunders Colleage Publishing, United States of America.



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SARAWAK

- King, L. Y., Yau, S. T., Maira, A. J., Coronado, J. M., Soria, J. dan Yue, P. L., 2003. The Influence of Surface Properties on the Photocatalytic Activity of Nanostructured TiO₂. *Journal of Catalysis* **219**, 107-116.
- Kiriakidou, F., Kondarides, D. I. dan Verykios, X. E., 1999. The Effect Of Operational Parameters And TiO₂-Doping On The Photocatalytic Degradation Of Azo-Dyes. *Catalysis Today*. **54**, 119-130.
- Konstantinou, I. O. dan Albanis T. A., 2004. TiO₂-Assisted Photocatalytic Degradation of Azo Dyes in Aqueous Solution: kinetic and Mechanistic Investigative Review. *Applied Catalysis B: Environmental* **49**, 1-14.
- Lachheb, H., Puzenat, E., Houas, A., Ksibi, M., Elaloui E., Guillard, C. and Herrmann, J. M., 2002. Photocatalytic Degradation of Various Types of Dyes (Alizarin S, Crocein Orange G, Methyl red, Congo Red, Methylene Blue) in Water by UV-Irradiated Titania. *Applied Catalysis B: Environmental* **39**, 75-90.
- Levine, I. N., 2003. *Physical Chemistry*. Ed. Ke-5. McGraw-Hill Companies, Inc, New York.
- Liokou, S., Kornaros, M. dan Lyberatos, G., 1997. Pretreatment of Azo Dyes using Ozone. *Water Science Technology* **36**(2), 155-163.



- Machado, A. E. H., Miranda, J. A., Freitas, R. F., Duarte, E. T. F. M., Albuquerque, Y. D. T., Ruggiero, R., Sattler dan C., Oliveira, L., 2002. Destruction Of The Organic Matter Present In Effluent From A Cellulose And Paper Industry Using Photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: chemistry* **6198**, 1-11.
- Masschelein, W. J., 2002. *Ultraviolet Light in Water and Wastewater Sanitation*. Lewis Publishers, CRC Press Company, Florida.
- Mazzarino, L., Piccinini, P. dan Spinelli, L., 1999. Degradation of Organic Pollutants in Water by Photochemical Reactor. *Catalysis Today* **48**, 315-321.
- Mills, A. dan Hunte, S. L., 1997. An Overview of Semiconductor Photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* **108**, 1-35.
- Moore, W. J., 1972. *Physical Chemistry*. Ed. Ke-5. Prentice-Hall, New Jersey.
- Neppolian, B., Choi, H. C., Sakthivel, S., Arabindoo, B. dan Murugesan, V., 2001. Solar Light Induced and TiO₂ Assisted Degradation of Textile Dye Reactive Blue 4. *Chemosphere* **46**, 1173-1181.
- Oppenländer, T., 2003. *Photochemical Purification of Water and Air*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, Weinheim.

Pavia, D. L., Lampman, Gary, M. dan George, S. K. Jr., 1992. *Introduction to Spectroscopy*. Saunders College Publishing, Winston.

Park H. and Choi W., 2003. Visible Light and Fe(III)-mediated degradation of Acid Orange 7 in the Absence of H₂O₂. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: chemistry* **159**, 241-247.

Pinheiro, H. M., Touraud, E. dan Thomas, O., 2004. Aromatic Amines from Azo Dye Reduction: Status Review with Emphasis on Direct UV Spectrophotometer Detection in Textile Industry Wastewaters. *Dyes and Pigments* **61**, 121-139.

Poulious, I. Dan Tsachpinis, I. 1999. Photodegradation of the Textile Dye Reactive Black 5 in the Presence of Semiconducting Oxides. *Journal of Chemical Technology and Biotechnolog* **74**, 349-357.

Reutergårdh, L. B. dan Langphasuk, M., 1997. Photocatalytic Decolorization of Reactive Azo Dye: a comparison Between TiO₂ and Cds. *Photocatalysis Chemosphere* **35**(3), 585-596.

Rossing, T. D. dan Chiaverina, C. J., 1999. *Light Science: Physics and the Visual Arts*. Springer-Verlag, Inc, New York.



Rusmidah Ali dan Koey, P. L., 2001. Degradasi Triptofan Menggunakan Mangkinfoto Berasaskan Serbuk Titanium Dioksida. *Buletin Kimia* 16, 15-20.

Sapach, R. dan Viraraghavan, T., 1997. An Introduction to the Use of Hydrogen Peroxide and ultraviolet Radiation: An Advanced Oxidation Process. *Journal Environmental Science Health A*32 (8), 2355-2366.

Shreve, R. N., 1984. *Shreve's Chemical Process Industries*. McGraw-Hill Inc., Singapore.

Silva, C. G. dan Faria, J. L., 2003. Photochemical and Photocatalytic Degradation of An Azo Dye in Aqueous Solution by UV Irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 155, 133-143.

Skoog, D. A., Holler, F. J. dan Nieman, T. A., 1998. *Principles of Instrumental Analysis*. Ed. Ke-5. Harcourt Brace & Company, Amerika Syarikat.

So, C. M., Cheng, M. Y., Yu, J. C. dan Wong, P. K., 2002. Degradation of Azo Dye Procion Red MX-5B by Photocatalytic Oxidation. *Chemosphere* 46, 905-912.

Spadaro, J. T., Isabella, L. dan Renganathan V., 1994. Hydroxyl Radical Mediated Degradation Of Azo Dyes: Evidence For Benzene Generation. *Environmental Science Technolog*. 28, 1389-1393.

Stafford, U., Gray, K. A. dan Kamat, P. V., 1996. Photocatalysis Degradation of Organic Contaminants: Halophenols and Related Model Compounds. *HRC Advanced-Education Review* 3, 77-104.

Styliadi, M., Kondarides, D. I. dan Verykios, X. E., 2003. Pathways Of Solar Light Induced Photocatalytic Degradation Of Azo Dyes In Aqueous TiO₂ Suspensions. *Applied Catalysis* 40, 271-286.

Suty, H., Traversay, C. D. dan Cost, M., 2004. Applications Of Advanced Oxidation Processes: Present And Future. *Water Science And Technology* 49 (4), 227-233.

Tang, W. Z. dan An, H., 1995. UV/TiO₂ Photocatalytic Oxidation Of Commercial Dyes In Aqueous Solutions. *Chemosphere* 31 (9), 4157-4170.

Vinodgopal, K., Wynkoop, D. E., dan Kamat, P. V., 1996. Environmental Photochemistry On Semiconductor Surfaces: Photosensitized Degradation of A Textile Azo Dye, Acid Orange 7, On TiO₂ Particles Using Visible Light. *Environmental Science Technology* 30, 1660-1666.

Wu, J. J. dan Yu, C. C., 2004. Aligned TiO₂ Nanorods and Nanowalls. *The Journal of Physical Chemistry: B* 108 (11), 3377-3379.

Zhou, S. dan Ray, A. K., 2003. Kinetic Studies for Photocatalytic Degradation of Eosin B on a Thin Film of Titanium Dioxide. *Ind. Eng. Chem. Res* **42**, 6020-6033.

Zollinger, H., 1991. *Color Chemistry: Synthesis, Properties and Applications of Organic Dyes and Pigments*, Ed Ke-2. VCH Publishers, Inc., New York, USA.

Zumdahl, S. S., 1992. *Chemical Principles*. D. C. Health and Company, Canada.

