

**KAJIAN KUALITI TERHADAP PARACETAMOL
(ACETAMINOPHEN, C₈H₉NO₂) DENGAN MENGGUNAKAN
TEKNIK PEMBELAUAN SINAR-X**

WONG WEI HWA

PERPUSTAKAAN
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

**TESIS YANG DIKEMUKAKAN UNTUK MEMENUHI SEBAHAGIAN
DARIPADA SYARAT MEMPEROLEHI IJAZAH SARJANA MUDA SAINS
FIZIK DENGAN ELEKTRONIK**

**PROGRAM FIZIK DENGAN ELEKTRONIK
SEKOLAH SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH**

MAC 2007



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

BORANG PENGESAHAN STATUS TESIS@

JUDUL: KAJIAN KUALITI TERHADAP PARACETAMOLACETAMINOPHEN, C₈H₉NO₂ DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK
PEMBELAUAN SINAR-XIjazah: SARJANA MUDA SAINS FIZIK DENGAN ELEKTRONIKSESI PENGAJIAN: 2006/2007Saya WONG WEI HWA

(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

Wei Hwa

(TANDATANGAN PENULIS)

Disahkan oleh

Key-oh
(TANDATANGAN PUSTAKAWAN)

Alamat Tetap: 29, Jalan Pelanduk 1
Taman Sunfex, Batu 9,
43200 Kajang, Selangor.

Nama Penyelia

Tarikh: 17/04/2007

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 diketaskan sebagai SULIT dan TERHAD.

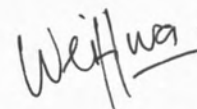
@ Tesis dimaksudkan sebagai tesis bagi Ijazah Doktor Falsafah dan Sarjana secara penyelidikan, atau disertasi bagi pengajian secara kerja kursus dan penyelidikan, atau Laporan Projek Sarjana Muda (LPSM).



PENGAKUAN

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

16 April 2007



WONG WEI HWA


HS2004-2765

820216-14-5174

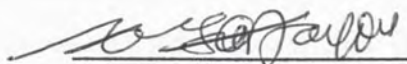


PENGESAHAN**DIPERAKUKAN OLEH****TANDATANGAN**

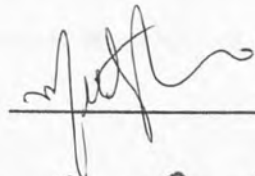
1. PENYELIA
(PROF. MADYA DR. FAUZIAH HJ. AZIZ)

 16/4/07

2. PEMERIKSA 1
(PROF. MADYA DR. JEDOL DAYOU)


16.4.2007

3. PEMERIKSA 2
(PUAN TEH MEE TENG)

 17/4/2007

4. DEKAN
(SUPT/KS PROF. MADYA DR SHARIFF A.K. OMANG)





PENGHARGAAN

Setinggi-tinggi penghargaan ditujukan kepada pensyarah-pensyarah Sekolah Sains dan Teknologi yang terlibat secara langsung dan tidak langsung dalam memberi tunjuk ajar dalam proses pembelajaran. Terutama sekali kepada penyelia saya, Professor Madya Dr. Fauziah Hj. Abdul Aziz yang telah banyak memberi bantuan, bimbingan dan maklumat yang bernilai sehinggakan saya dapat menyiapkan projek 1 dan projek 2 dengan berjaya. Beliau memberi tunjuk ajar dan bimbingan dari peringkat permulaan, pelaksanaan dan penyiapan dalam kedua-dua projek ini.

Tidak lupa juga penghargaan kepada Dr. How yang telah mengizinkan saya menjalankan ujian penulenan sampel paracetamol di makmal kimia Sekolah Sains dan Teknologi. Tidak lupa juga kepada pembantu makmal Universiti Putra Malaysia, Cik Yusnita yang telah banyak berusaha menjalankan ujian makmal pembelauan sinar-X bagi sampel-sampel saya. Terima kasih diucapkan kepada Glen Lingham, pengurus promosi di Servier Malaysia Sdn Bhd kerana telah banyak memberi nasihat, tunjuk ajar, bantuan dan panduan kepada saya semasa menjalankan temubual di Servier Malaysia Sdn Bhd.

Dengan ini juga, penghargaan ini juga ditujukan kepada keluarga dan rakan-rakan saya yang sentiasa memberi sokongan dan bantuan. Terakhir sekali, saya ingin menunjukan penghargaan ini kepada orang yang penting kepada saya iaitu Cik Loh Mei Wah yang sering memberi sokongan moral dan bantuan kepada saya. Dengan bantuan dan sokongan yang diberi oleh mereka semua, berjayalah projek tesis saya ini.

Wong Wei Hwa



ABSTRAK

Dalam industri farmasi, XRD digunakan untuk menganalisa dan mengoptimumkan bentuk dos akhir. Kawalan dan pengawasan kualiti bagi sifat keadaan pepejal API (*Active Pharmaceutical Ingredient*) adalah penting dalam proses pengeluaran. Lima jenama ubat yang mengandungi bahan aktif 500mg *Paracetamol* (*Acetaminophen*, $C_8H_9NO_2$) telah digunakan. *Paracetamol* adalah serbuk yang berwarna putih, tidak berbau dan pahit rasanya. Keputusan yang diperoleh berdasarkan perbandingan nilai 2θ eksperimen dengan nilai 2θ piawai dapat menunjukkan kualiti ubat dengan tepat iaitu nilai purata $\Delta 2\theta$ di antara $\pm 0.001^\circ$ hingga $\pm 0.03^\circ$ menunjukkan bahawa ubat masih berada dalam keadaan simetri hablur yang asal iaitu ubat masih baik. Bagi nilai purata $\Delta 2\theta$ yang lebih daripada $\pm 0.03^\circ$ menunjukkan bahawa ubat *Paracetamol* yang dikaji telah berubah kepada bentuk yang lain atau mungkin sudah rosak. Keputusan yang diperolehi menunjukkan bahawa ujian pembelauan sinar-X dapat menentukan kualiti sampel ubat dengan tepat sebanyak $\pm 0.03^\circ$, $\Delta 2\theta^\circ$.



ABSTRACT

In pharmaceutical industry, XRD is used to analyze and optimize final dosage forms. Quality control for the solid states characteristic of Active Pharmaceutical Ingredient is very important in the production process. Five type of different brand 500mg Paracetamol (*Acetaminophen*, $C_8H_9NO_2$) are used. Paracetamol is a white powder, odorless and it tastes bitter. If the average of $\Delta 2\theta$ is in between $\pm 0.001^\circ$ to $\pm 0.03^\circ$, then we conclude that the crystal symmetry of the drug is not changed or it is still in good condition. For the average of $\Delta 2\theta$ which more than $\pm 0.03^\circ$, we can conclude that the symmetry of the drug has changed to other form and maybe is spoiled. Thus, the result generated by XRD technique is very accurate which is about $\pm 0.03^\circ$, $\Delta 2\theta^\circ$.



SENARAI KANDUNGAN

	Halaman
PENGAKUAN	ii
PENGESAHAN	iii
PENGHARGAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
SENARAI KANDUNGAN	vii
SENARAI JADUAL	ix
SENARAI RAJAH	x
SENARAI GRAF	xi
SENARAI FOTO	xiii
SENARAI CARTA	xiv
SENARAI SIMBOL	xv
BAB1 PENGENALAN	
1.1 Pengenalan	1
1.2 XRD Dalam Industri Farmasi	2
1.3 Objektif Kajian	5
1.4 Skop Kajian	5
BAB 2 ULASAN LITERATUR	
2.1 Pengenalan	6
2.2 Penemuan Sinar-X	7
2.3 Penjanaan Sinar-X	8
2.3.1 Penjanaan Sinar-X Selanjar (Bremsstrahlung)	9
a. Ciri-ciri Spektrum Selanjar	10
2.3.2 Penjanaan Sinar-X Cirian (characteristic)	13
a. Siri-K dan Siri-L dalam Spektrum Cirian	17
2.3.3 Kawalan bagi Keamatan dan Kuasa Menembus	20
2.4 Pembelauan Sinar-X	20
2.4.1 Teori Pembelauan Sinar-X	23



BAB 3	METODOLOGI	
3.1	Analisis Pembelauan Sinar-X	24
3.2	Alat Diffraktometer	25
3.3	Pengenalan Kepada Paracetamol	28
3.4	Metodologi Mendapat Data Daripada Sampel	29
3.4.1	Penyediaan Bahan Sampel(Paracetamol)	30
3.4.2	Penulenan Paracetamol	31
3.4.3	Analisis Dijalankan Di Universiti Putra Malaysia	33
3.4.4	Pengumpulan Data dari Diffraktometer	33
3.4.5	Analisis Data	34
3.5	Ringkasan Metodologi	38
BAB 4	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	
4.1	Pengenalan	39
4.2	Keputusan	39
4.2.1	Perbandingan Data Eksperimen Dengan Data Piawai	41
4.2.2	Perbandingan Spektrum Sampel Dengan Spektrum Piawai <i>Paracetamol</i>	51
4.3	Perbincangan	61
BAB 5	KESIMPULAN DAN CADANGAN	
5.1	Kesimpulan	63
5.2	Ralat dan Ketidakpastian	64
5.3	Cadangan	65
5.4	Langkah Berjaga-jaga	66
RUJUKAN		68
LAMPIRAN		70



SENARAI JADUAL

No. Jadual		Halaman
1.1	Perbandingan nilai had pengesanan minimum bagi kaedah berlainan.	5
2.1	Sinar-sinar cirian yang dipancarkan oleh suatu atom.	19
3.1	Sifat kimia dan sifat fizik <i>Paracetamol</i> .	28
4.1	Nilai 2θ Sampel Ubat A Jenis Baik	41
4.2	Nilai 2θ Sampel Ubat A Jenis Rosak	42
4.3	Nilai 2θ Sampel Ubat B Jenis Baik	43
4.4	Nilai 2θ Sampel Ubat B Jenis Rosak	44
4.5	Nilai 2θ Sampel Ubat C Jenis Baik.	45
4.6	Nilai 2θ Sampel Ubat C Jenis Rosak	46
4.7	Nilai 2θ Sampel Ubat D Jenis Baik	47
4.8	Nilai 2θ Sampel Ubat D Jenis Rosak	48
4.9	Nilai 2θ Sampel Ubat E Jenis Baik	49
4.10	Nilai 2θ Sampel Ubat E Jenis Rosak	50
4.11	Nilai $\Delta 2\theta$ Bagi Ubat Jenis Baik Berdasarkan Jenama	61
4.12	Nilai $\Delta 2\theta$ Bagi Ubat Jenis Rosak Berdasarkan Jenama	61



SENARAI RAJAH

No. Rajah	Halaman
2.1 Struktur tiub sinar-X bersasaran Tungsten	8
2.2 Spektrum selangar sinar-X	10
2.3 Elektron berhalaju tinggi berlanggar elektron di dalam petala K.	13
2.4 Fotoelektron meninggalkan petala K.	14
2.5 Sinaran-X terhasil apabila elektron dari petala L menggantikan kekosongan dalam petala K.	15
2.6 Spektrum sinar-X yang mengadungi spektrum selangar (<i>continuous</i>) dan spektrum cirian (<i>characteristics</i>)	17
2.7 Siri-K dan Siri-L dalam Spektrum Cirian	18
2.8 Peralihan-peralihan elektron menghasilkan sinar-X cirian.	19
2.9 Mekanisme pembelauan sinar-X	21
3.1 Gambarajah skema sebuah difraktomer.	27
3.2 Struktur paracetamol (<i>4-acetamidophenol</i>).	30
3.3 Lebar puncak pada separuh keamatan maksimum (<i>Full Width at Half Maximum, FWHM</i>)	35
3.4 Titik puncak spektrum jelas berada di titik tertinggi spektrum bagi nilai FWHM yang kecil.	36
3.5 Titik puncak spektrum tidak jelas ditunjukkan dalam spektrum bagi nilai FWHM yang besar.	36



SENARAI GRAF

No. Graf		Halaman
4.1	Perbandingan nilai keamatan piawai ubat paracetamol dengan nilai keamatan sampel ubat A jenis baik.	51
4.2	Perbandingan nilai keamatan piawai ubat paracetamol dengan nilai keamatan sampel ubat A jenis rosak.	52
4.3	Perbandingan nilai keamatan piawai ubat paracetamol dengan nilai keamatan sampel ubat B jenis baik.	53
4.4	Perbandingan nilai keamatan piawai ubat paracetamol dengan nilai keamatan sampel ubat B jenis rosak.	54
4.5	Perbandingan nilai keamatan piawai ubat paracetamol dengan nilai keamatan sampel ubat C jenis baik.	55
4.6	Perbandingan nilai keamatan piawai ubat paracetamol dengan nilai keamatan sampel ubat C jenis rosak.	56
4.7	Perbandingan nilai keamatan piawai ubat paracetamol dengan nilai keamatan sampel ubat D jenis baik.	57
4.8	Perbandingan nilai keamatan piawai ubat paracetamol dengan nilai keamatan sampel ubat D jenis rosak.	58
4.9	Perbandingan nilai keamatan piawai ubat paracetamol dengan nilai keamatan sampel ubat E jenis baik.	59
4.10	Perbandingan nilai keamatan piawai ubat paracetamol dengan nilai keamatan sampel ubat E jenis rosak.	60
4.11	Spektrum yang dihasilkan dari sampel ubat A jenis baik.	73
4.12	Spektrum yang dihasilkan dari sampel ubat A jenis rosak.	73
4.13	Spektrum yang dihasilkan dari sampel ubat B jenis baik.	74
4.14	Spektrum yang dihasilkan dari sampel ubat B jenis rosak.	74
4.15	Spektrum yang dihasilkan dari sampel ubat C jenis baik.	75
4.16	Spektrum yang dihasilkan dari sampel ubat C jenis rosak.	75



4.17	Spektrum yang dihasilkan dari sampel ubat D jenis baik.	76
4.18	Spektrum yang dihasilkan dari sampel ubat D jenis rosak.	76
4.19	Spektrum yang dihasilkan dari sampel ubat E jenis baik.	77
4.20	Spektrum yang dihasilkan dari sampel ubat E jenis rosak	77



SENARAI FOTO

No. Foto		Halaman
3.1	Diffraktometer bermodal <i>Philip PW3020 Xpert-Pro XRD</i>	27
3.2	Alat-alat penulenan <i>Paracetamol</i>	32
3.3	Sampel-sampel ubat yang sudah dituliskan	33



SENARAI CARTA

No. Carta		Halaman
3.1	Proses metodologi menguji bahan sampel	38



SENARAI SIMBOL

c	Halaju cahaya
h	Pemalar Planck
e	Cas elektron
A	Arus
V	Beza keupayaan yang dikenakan
E	Tenaga
E_{X-ray}	Tenaga sinar-X
Φ_e	Tenaga ikatan elektron
Φ_K	Tenaga elektron pada orbit K
Φ_L	Tenaga elektron pada orbit L
Φ_M	Tenaga elektron pada orbit M
E_{maks}	Tenaga kinetik
d	Jarak antara satah
θ	Sudut sinar tuju
n	Tertib pantulan
λ	Panjang gelombang



BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pengenalan

X-ray diffraction (XRD) atau pembelauan sinar-X adalah satu teknik instrumentasi tidak memusnah (*non-destructive technique*, NDT) yang sering digunakan untuk menentukan struktur kristal dan kewujudan fasa kristal dalam bahan pepejal dan serbuk. XRD juga digunakan untuk menganalisis ciri-ciri struktur seperti komposisi fasa, orientasi kristal dan tekanan bahan (Gilli, 1992). Teknik ini berkebolehan menentukan unsur yang terkandung dalam bahan seperti pepejal atau serbuk serta menentukan kepekatan unsur-unsur berkenaan, berdasarkan panjang gelombang dan keamatan Sinar-X (Wormald, 1973).

Di samping itu, XRD juga digunakan untuk mengesan perubahan dalam morfologi atau keadaan kristal untuk bahan aktif (semasa proses pembuatan). XRD juga digunakan untuk mengesan dan menyatakan kuantiti ketidaktulenan hablur (sehingga 0.05%). XRD digunakan untuk menentukan kehabluran atau saiz hablur bagi sesuatu sebatian. Ia juga digunakan untuk menganalisa dan mengoptimumkan bentuk dos akhir.



XRD secara tidak langsungnya boleh mempamerkan maklumat struktur dalaman sehingga kepada saiz 10^{-7} mm. XRD juga merupakan teknik analisis sebatian hablur (*crystalline compound*) kuantitatif dan kualitatif yang amat baik. Teknik ini memberikan maklumat yang tidak dapat diperolehi dalam cara lain.

Terdapat dua jenis spektrometri sinar-X yang digunakan untuk mengenalpasti bahan. Pertama ialah teknik *X-ray diffraction* (XRD) dan yang kedua ialah *X-ray fluorescence* (XRF). XRD digunakan untuk menentukan kewujudan kandungan mineral dalam satu sampel manakala XRF atau kaedah spektrokimia yang lain pula digunakan untuk menentukan hanya elemen yang terkandung dalam satu sampel.

XRD digunakan dalam banyak industri seperti industri pemakanan, industri aluminium, industri pembuatan simen, industri farmaseutikal, industri geologi dan industri pigmen. Dalam disertasi ini, penggunaan XRD dalam industri farmaseutikal akan dibincangkan.

1.2 XRD Dalam Industri Farmasi

Spektrometri XRD merupakan teknik instrumentasi tidak memusnah (NDT) di mana ciri-ciri unsur dalam sampel dikenalpasti (analisis kualitatif). Sampel-sampel ini kemudian dikenalpastikan kepekatannya (analisis kuantitatif) dan kedua-dua proses ini dijalankan dengan menggunakan sinar-X yang sesuai.

Dalam analisis kualitatif mengenai tenaga atau panjang gelombang, ianya adalah berasaskan kepada unsur yang dicirikan oleh tenaga atau panjang gelombang



sinar-Xnya yang unik. Dalam analisis kuantitatif mengenai keamatan, ianya berasaskan keamatan tenaga sesuatu sinar-X yang berkadar terus dengan kepekatan unsur di dalam sampel berkenaan.

Dalam industri farmasi, XRD digunakan untuk menganalisa dan mengoptimumkan bentuk dos akhir. XRD juga digunakan untuk menentukan pembentukan kristalografik bagi sampel yang terletak di bawah keadaan sekeliling atau bukan sekeliling daripada ciri-ciri fizikal bagi bahan aktif farmaseutikal (*Active Pharmaceutical Ingredient, API*). Kawalan dan pengawasan kualiti bagi sifat keadaan pepejal API adalah penting dalam proses pengeluaran. XRD banyak membantu dalam penemuan ubat, pembangunan dan pembuatan dalam industri farmaseutikal (Surman, 1998).

XRD adalah alat analitis khas bagi produk farmasi dalam keadaan pepejal. Banyak parameter atau had yang diperlukan oleh agensi farmasi, *patern* sah dan prestasi ubat hanya boleh dijayakan dengan adanya XRD (Surman, 1998). Pengenalan sistem khusus yang dibangunkan khas untuk industri farmasi kini menyebabkan penggunaan XRD semakin luas dan semakin kos berkesan (Surman, 1998).

Analisis fasa dan pengesanan *polymorph* adalah keperluan analitis asas dalam pembangunan dan pengeluaran industri farmasi (Surman, 1998). Dalam pada itu, penentuan struktur kristal, pengajian tingkah-laku atau tindakan sekeliling dan morfologi keseluruhan memberikan pemahaman terhadap sifat agen farmaseutikal (Surman, 1998). *Powder XRD* iaitu pembelauan sinar-X jenis serbuk mempunyai banyak kegunaan penting dalam industri farmasi. Pertama, pencirian fasa biasanya



dijalankan dengan membandingkan sampel yang belum diketahui dengan pangkalan data yang telah ditubuhkan. Kemudian, oleh kerana corak pembelauan adalah ciri kepada struktur hablur sesuatu bahan, maka *polymorphs* senang dikenalpastikan (Surman, 1998).

Teknik XRD digunakan di dalam bidang ini berbanding dengan kaedah-kaedah lain kerana ia mempunyai kelebihan-kelebihan yang tersendiri iaitu:

1. Kaedah ujian tanpa memusnah (NDT)

Sampel kajian boleh digunakan berulang kali kerana tiada sebarang perubahan ke atas sifat kimia ataupun fiziknya. XRD berguna berbanding dengan kaedah spektrometri jisim yang akan memusnahkan sampel. Selain daripada itu, kaedah analisis pengaktifan neutron akan mengubahkan sampel kajian kepada isotop baru yang tidak stabil.

2. Kesensitifan

Spektrometer pendafluor sinar-X adalah agak sensitif dan mempunyai nilai had pengesanan yang hampir setara dengan sistem analisis yang lain. Perbandingan nilai had pengesanan minimum satu unsur paling sensitif di antara kaedah analisis pembelauan sinar-X dengan kaedah lain yang ditunjukkan seperti dalam Jadual 1.1.



Jadual 1.1 Perbandingan nilai had pengesanan minimum bagi kaedah berlainan.

Kaedah Analisis	Nilai Had Pengesanan Minimum (g)
XRD	10^{-9}
XRF	10^{-9}
Spektrometer serapan atom	10^{-11}
Spektrometer pancaran atom	10^{-12}
Spektrometer jisim	10^{-13}

1.3 Objektif Kajian

- i. Menunjukkan aplikasi praktikal bagi teknik pembelauan sinar-X dalam industri farmaseutikal.
- ii. Membandingkan nilai 2 θ eksperimen dengan nilai 2 θ piawai ubat *Paracetamol* untuk mengetahui samaada simetri hablur ubat telah berubah .
- iii. Membandingkan kualiti ubat dengan memerhatikan spektrum.

1.4 Skop Kajian

Projek ini menitikberatkan kegunaan teknik pembelauan sinar-X dalam menguji kualiti sampel ubat. Dalam disertasi ini, sampel ubat yang diuji di sini dibahagikan kepada dua jenis iaitu ubat yang belum rosak dan ubat yang sudah rosak. Lima ubat jenama lain yang mengandungi kandungan 500mg *Paracetamol* telah digunakan. Kesemua ubat *Paracetamol* ini adalah berasal daripada pembuat yang berbeza. Kesemua ubat *Paracetamol* ini akan dihancurkan sehingga halus dan diuji dengan teknik pembelauan sinar-X. Jadi, kualiti ubat dapat diperhatikan dengan memeriksa corak pembelauan yang terbentuk. Kualiti ubat boleh ditentukan dengan membuat perbandingan nilai 2 θ eksperimen dengan nilai 2 θ piawai. Dengan membuat



perbezaan 2θ ini, kita dapat mengetahui samaada sampel ubat yang dikaji telah mengubah bentuk asalnya atau simetri hablur telah berubah. Nilai 2θ yang dipilih dalam perbandingan adalah nilai 2θ yang mempunyai keamatan tinggi dan nilai *Full Wave Half Maximum* (FWHM) yang rendah.



BAB 2

ULASAN LITERATUR

2.1 Pengenalan

Sinar-X merupakan sebahagian dari spektrum gelombang elektromagnet (Cullity *et al*, 2001). Gelombang elektromagnet merangkumi sinar gamma, sinar UV, sinar boleh nampak, gelombang radio, gelombang mikro dan sebagainya. Gelombang-gelombang dalam spektrum elektromagnet berbeza dari segi panjang gelombang, frekuensi dan tenaga fotonnya (Michael, 1997). Sifat-sifat sinar-X boleh disenaraikan seperti berikut:

1. Sinar-X merupakan gelombang elektromagnet yang berpanjang gelombang sangat pendek, berjangka dari 8×10^{-8} m ke 8×10^{-12} m.
2. Ia bergerak mengikut garis lurus.
3. Ia tidak boleh dipesongkan oleh medan elektrik atau medan magnet.
4. Ia mempunyai kuasa penembusan yang tinggi berbanding dengan cahaya yang lain. Ia boleh menembusi badan manusia, kayu, besi dan bahan legap dengan senang sekali (Cullity *et al*, 2001).
5. Ia mengionkan gas.



6. Ia memancarkan elektron-elektron dari permukaan logam ke atas mana ia jatuh.
7. Ia menyebabkan kebanyakan bahan seperti zink sulfida, barium platinosianida menghasilkan sinar pendarflour.
8. Ia mempengaruhi plat-plat fotografi.
9. Ia boleh dibelaukan oleh blok hablur.

2.2 Penemuan Sinar-X

Sinar-X ditemui oleh seorang ahli fizik German, William Conrad Roentgen pada tahun 1895 di Universiti Wurburg, Bavaria, German. Roentgen menemui sinar-X semasa beliau menyelidik pendafluor hijau tiub Crookes, ahli fizik Britain (1832-1919), beliau terlihat ada sinar pendarflour dari barium-platino sianida yang terletak berhampiran dan di luar tiub (Jenkins *et al.*, 1996). Sinar yang keluar dari tiub ini bukan sinar katod kerana sinar katod tidak dapat menembusi dinding tiub. Elektron yang dipancarkan dari katod dipecutkan dengan lurus menghentam sasaran (anod). Elektron ini kemudian diberhentikan secara tiba-tiba ("*Bremsstrahlung*") dan ia menghasilkan sinar yang dipanggil sinar-X (Mckie *et al.*, 1974). Pada masa itu, Roentgen menamakannya sebagai sinar "X" untuk menunjukkan penyinaran yang tidak dikenali. Penjanaan sinar-X akan dibincangkan selepas ini.



RUJUKAN

- Abdul Aziz, F., 1989. *Indexing and Structural Studies of Materials by High-Resolution X-Ray Powder Diffraction*. Disertasi Doctor of Philosophy, University of Surrey.
- Ahmad, B., 2006. *X-Rays and X-Ray Diffraction*, TNB Research Sdn. Bhd.
- Background Information*, t.b.t. Dipetik dari
<http://www.chemsoc.org/pdf/LearnNet/rsc/paracetamol.pdf> pada 14 Oktober 2006.
- Bragg, S.L., 1967. *The Start of X-Ray Analysis*. Newgate Press Ltd., Great Britain.
- Cheong, F. C., 1993. *Fizik 2, STPM*. Pelangi.
- Cullity, B. D., dan Stock, S. R., 2001. *Elements of X-ray Diffraction*. Ed. ke-3. Prentice Hall, Inc.
- Gilli, G., 1992. *Fundamental of Crystallography*. Oxford University Press, Oxford.
- Hammond, C., 1992. *Introduction to Crystallography*. Revised Ed. Oxford University Press.
- Jenkins, R., dan Synder, R. L., 1996. *Introduction to X-Ray Powder Diffraction*. John Wiley and Sons, Canada.
- Klug, H. P. dan Alexander, L. E., 1974. *X-Ray Diffraction Procedures for Polycrystalline and Amorphous Materials*. Ed. ke-2. John Wiley and Sons, New York.
- Mckie, C. dan Mckie, D., 1974. *Crystalline Solids*. Thomas Nelson and Sons Ltd., London.



- Michael, H., 1971. *Crystals and Crystal Structure*. William Clowes and Sons Ltd., Great Britain.
- Michael, J. Neal dan Abas H. H. (Penyunting Terjemahan) 1999. *Farmakologi Perubatan Sekali Imbas*. Ed ke-3. Universiti Sains Malaysia.
- Michael, M. W., 1997. *An Introduction to X-Ray Crystallography*. Ed. Ke-2. Cambridge University Press, New York.
- Muhammad, Y., 1989. *Fizik Moden*. Dewan Bahasa dan Pustaka, Kuala Lumpur.
- Muhammad, Y., 1989. *Pengenalan Fizik Keadaan Pepejal*. Dewan Bahasa dan Pustaka Kuala Lumpur.
- Surman, D., 1998. *X-Ray Diffraction for Solid State Pharmaceutical Products*. Dipetik dari <http://www.kratos.com/XRD/IQInt.html> pada 17 Julai 2006.
- Welton J., McCarthy G., 1987. *ICDD Grant-in-Aid*. North Dakota State University Fargo, ND, USA.,
- Wikimedia Foundation Inc., 2006. *Paracetamol*. Dipetik dari <http://www.wikipedia.com/paracetamol> pada 17 Mei 2006.
- Wormald, J., 1973. *Diffraction Methods*. J.W. Arrowsmith Ltd, Great Britain.

