

**SINTESIS DAN PENCIRIAN ZEOLIT DARIPADA
ABU TERBANG**

SUHAINA BINTI ISMAIL

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

2005

SINTESIS DAN PENCIRIAN ZEOLIT DARIPADA ABU TERBANG

oleh

SUHAINA BINTI ISMAIL

**Tesis yang diserahkan untuk memenuhi keperluan bagi
Ijazah Sarjana Sains**

OGOS 2005

PENGHARGAAN

Bersyukur kehadiran Illahi kerana dengan rahmat dan limpahnya dapatlah saya diberi kesihatan dan kelapangan bagi menyiapkan projek penyelidikan sarjana ini.

Saya ingin mengambil kesempatan untuk merakamkan setinggi-tinggi penghargaan dan jutaan terima kasih kepada penyelia projek penyelidikan saya iaitu Dr. Norlia Baharun yang telah banyak membantu dalam pelbagai aspek samaada secara teknikal atau spiritual. Segala bimbingan, bantuan dan nasihat yang diberikan adalah amat berguna bagi menyiapkan penyelidikan ini.

Saya juga ingin merakamkan jutaan terima kasih kepada Prof. Madya Dr. Ahmad Fauzi bin Mohd Noor selaku penyelia kedua projek penyelidikan saya, di atas segala bantuan dan kerjasama beliau. Tidak lupa juga kepada Timbalan Dekan Pengajian Siswazah dan Penyelidikan PPKBSM iaitu Prof. Madya Dr Azizan Aziz di atas sokongan dan bantuan yang diberikan.

Ucapan terima kasih yang tak terhingga diucapkan kepada juruteknik-juruteknik yang telah terlibat secara langsung ataupun tidak di dalam kerja-kerja penyelidikan ini. Tidak lupa juga kepada IPS, kerana menganugerahkan saya Biasiswa Skim Pasca Siswazah selama 2 tahun serta bantuan kewangan daripada Projek Geran Jangka Pendek yang telah banyak membiayai kajian ini. Terima kasih juga diucapkan kepada Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan dan Sumber Mineral kerana memberi peluang untuk saya menjalankan penyelidikan Ijazah Sarjana. Kepada rakan-rakan dan keluarga yang telah banyak memberi semangat dan galakan yang tak terhingga, ucapan terima kasih yang tak ternilai diucapkan.

Akhir sekali, penghargaan ini saya tuju khas buat suami saya iaitu Mohamad Hasnor Bin Husin, anak saya, Haziq Mus'ad dan Allahyarham ibubapa saya (semasa hayatnya) yang telah banyak memberi sokongan dan galakan yang tak terhingga kepada saya dalam menyiapkan ijazah sarjana sains ini.

SUSUNAN KANDUNGAN

	Muka surat
PENGHARGAAN	ii
JADUAL KANDUNGAN	iii
SENARAI JADUAL	vii
SENARAI RAJAH	ix
SENARAI SINGKATAN	xii
SENARAI LAMPIRAN	xiii
SENARAI PENERBITAN DAN SEMINAR	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xvi
BAB SATU: PENGENALAN	
1.0 Identifikasi Masalah	1
1.1 Latar Belakang Dan Kepentingan Kajian	3
1.2 Objektif Kajian	5
1.3 Skop Kajian	6
BAB DUA: KAJIAN PERSURATAN	
2.0 Pengenalan	7
2.1 Pengenalan Abu Terbang	7
2.1.1 Senario Sumber Tenaga Di Malaysia	8
2.1.2 Penggunaan Arang Batu Di Malaysia	9
2.1.3 Bekalan Arang Batu Di Malaysia	10
2.1.4 Penggunaan Abu Terbang Di Malaysia	10
2.1.5 Sifat-sifat Abu Terbang	11
2.1.6 Masalah Pembuangan Dan Penggunaan Semula Abu Terbang	18
2.2 Pengenalan Zeolit Semulajadi	21
2.2.1 Struktur dan Pengelasan Zeolit	26
2.2.2 Sejarah Awal Pensintesis Zeolit	27
2.2.3 Mekanisma Pembentukan Zeolit	30
2.2.4 Penggunaan Zeolit	32
2.2.5 Aplikasi Zeolit Semulajadi	34
2.2.6 Aplikasi Zeolit Sintetik	36

2.3	Kaedah Pensintesan	37
2.3.1	Pelakuran	38
2.3.2	Hidrotermal	39
2.4	Analisis Pencirian	42
2.4.1	Pembelauan Sinar-X (XRD)	43
2.4.2	Pendaflour Sinar-X (XRF)	45
2.4.3	Keupayaan Penukaran Kation (CEC)	47
2.4.4	Mikroskop Imbasan Elektron (SEM)	49
2.4.5	Luas Permukaan Spesifik (BET)	51

BAB TIGA: BAHAN MENTAH DAN KAEDAH KAJIAN

3.0	Pengenalan	52
3.1	Bahan Mentah dan Bahan Kimia	54
3.1.1	Abu Terbang	54
3.1.2	Bahan Kimia	54
3.1.3	Peralatan Hidrotermal- (Model Parr Reaktor Mini, Siri 4563)	57
3.2	Penyediaan Sampel	58
3.2.1	Pengisaran dan Persampelan	58
3.2.2	Analisis Taburan Saiz	60
3.2.3	Analisis Saiz Ayak	61
3.3	Pencirian Abu Terbang	61
3.3.1	Analisis Ketumpatan Graviti	62
3.3.2	Analisis Ketumpatan Pukal Bebas	62
3.3.3	Peratus Kehilangan Jisim Pencucuhan (LOI)	63
3.3.4	Peratus Kandungan Kelembapan	63
3.3.5	Kajian Morfologi	64
3.4	Pra- rawatan Abu Terbang	65
3.4.1	Analisis Spektrofotometri Ultraungu	66

3.5	Tatacara Pensintesan Zeolit	67
3.5.1	Pensintesan Zeolit (Cara 1)	67
3.5.2	Percampuran	68
3.5.3	Pelakuran	69
3.5.4	Pembentukan Gel	71
3.5.5	Penghabluran	71
3.5.6	Penurasan, Cucian dan Pengeringan	72
3.5.7	Tatacara Sintesis Zeolit (Cara 2)	73
3.6	Pencirian Zeolit Sintetik	75
3.6.1	Analisis Pembelauan Sinar-X (XRD)	75
3.6.2	Analisis Pendaflour Sinar-X (XRF)	75
3.6.3	Analisis Keupayaan Penukaran Kation (CEC)	76
3.6.4	Analisis Mikrostruktur (SEM)	77
3.6.5	Analisis Luas Permukaan Spesifik (BET)	77
 BAB EMPAT: KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN		
4.0	Pengenalan	79
4.1	Analisis Taburan Saiz	79
4.2	Analisis Saiz Ayak	80
4.3	Pencirian Abu Terbang	81
4.3.1	Analisis Pembelauan Sinar-X (XRD)	81
4.3.2	Analisis Sifat Kimia (XRF)	83
4.3.3	Analisis Sifat Fizikal	86
4.3.4	Kajian Morfologi (Optik dan SEM)	88
4.4	Pra-rawatan Abu Terbang	94
4.4.1	Penentuan Ferum Dengan Menggunakan Spektrofotometri Ultraungu	95
4.4.2	Analisis Statistik Pada Data Analisis Keupayaan Kation (CEC)	98
4.5	Pensintesan Dan Pencirian Zeolit	99
4.6	Analisis Pembelauan Sinar-X (XRD)	99
4.6.1	Analisis Penentuan Fasa Semasa Proses Pelakuran	100
4.6.2	Kesan Suhu Dan Masa Tindak Balas	101
4.6.3	Kesan Komposisi Natrium Aluminium Silikat	104
4.6.4	Kesan Campuran Pelakuran	106

4.7	Analisis Pendafloor Sinar-X (XRF)	110
4.7.1	Kesan Suhu Dan Masa Tindak Balas	111
4.7.2	Kesan Komposisi Natrium Aluminat	112
4.7.3	Kesan Campuran Pelakuran	113
4.8	Keupayaan Penukaran Kation (CEC)	114
4.8.1	Kesan Suhu dan Masa Tindakbalas	114
4.8.2	Kesan Komposisi Natrium Aluminat	116
4.8.3	Kesan Campuran Pelakuran	116
4.9	Analisis Luas Permukaan Spesifik (BET)	117
4.10	Analisis Mikrostruktur (SEM)	120
	BAB LIMA: KESIMPULAN DAN CADANGAN	126
	SENARAI RUJUKAN	131
	LAMPIRAN	
	Lampiran A [Penyediaan Larutan]	138
	Lampiran B [Pengiraan]	141
	Lampiran C [Rekabentuk eksperimen]	147
	Lampiran D [Jadual Penentuan dan Pemerihalan Mineral]	148

SENARAI JADUAL

	Muka surat
2.1 Permintaan Sumber Bekalan Tenaga 1980-2005	9
2.2 Jumlah dan Cadangan Kapasiti Kuasa Di Loji Pembakaran Arang Batu	10
2.3 Perbandingan Julat Normal Komposisi Kimia di antara Arang Batu Jenis Bituminus, Sub-bituminus dan Lignit	16
2.4 Kumpulan Struktur Zeolit	26
2.5 Teknik-teknik Penghasilan Zeolit	28
2.6 Fasa Zeolit yang Terbentuk Di bawah Keadaan Hidrotermal	32
2.7 Kaedah-kaedah Pensintesis Zeolit	38
2.8 Nilai CEC bagi Zeolit Komersial	48
3.1 Senarai Bahan-bahan Kimia	55
3.2 Komposisi Larutan Natrium Aluminat	56
3.3 Spesifikasi Reaktor- (Model Parr Reaktor Mini, Siri 4563)	57
3.4 Analisis- analisis Pencirian Abu Terbang	61
3.5 9 Set Profail Tindak balas	72
3.6 Parameter-parameter yang Terlibat Dalam Kajian	74
4.1 Analisis Taburan Saiz Partikel Abu Terbang (Malvern)	80
4.2 Analisis Saiz Ayak	81
4.3 Kandungan Komposisi Kimia Abu Terbang (PFA) mengikut Saiz Ayak	83
4.4 Komposisi Kimia PFA dari Stesen Janakuasa Sultan Salahuddin Abdul Aziz Shah mengikut Spesifikasi ASTM C 618	86
4.5 Sifat -sifat Fizikal Abu Terbang (PFA)	87
4.6 Penyediaan Sampel dan Perolehan Imej Abu Terbang	88
4.7 Mineral-mineral yang Mungkin Wujud pada Sampel Abu Terbang Mengikut Saiz Sampel dengan Menggunakan Mikroskop Cahaya	90
4.8 Data Penyerapan dan Peratus Penyingkiran Ferum di dalam Sampel Abu Terbang	95
4.9 Perbandingan Komposisi Kimia (XRF) Abu Terbang Sebelum dan Selepas Dilarutlesap dengan HCL	96

4.10	Nilai Ralat Pada Data Keupayan Penukaran Kation (CEC)	99
4.11	Analisis XRD Abu Terbang dan Produk Zeolit yang dijalankan pada Suhu (60,85 dan 105) ^o C dengan Masa Tindak balas selama 4 dan 8 jam	101
4.12	Analisis XRD Abu Terbang dan Produk Zeolit yang terhasil daripada Tiga Jenis Komposisi Natrium Aluminat pada suhu 105 ^o C dengan Masa Tindak Balas 4 jam	105
4.13	Analisis XRD Abu Terbang dan Produk Zeolit yang terhasil daripada Cara 1 dan Cara 2 pada Suhu 85 ^o C dengan Masa Tindak Balas 4 jam	107
4.14	Kesan Nisbah Silika dan Alumina terhadap Sifat Zeolit	111
4.15	Ringkasan Keputusan Analisis Pencirian	125

SENARAI RAJAH

	Muka surat
2.1 Aliran Umum Penghasilan Abu Terbang	12
2.2 Rajah Skema Pemendak Elektrostatik	14
2.3 Paten Pembelauan X-Ray Abu Terbang dari Pelbagai Jenis Arang Batu	15
2.4 Morfologi Partikel Abu Terbang; (a) Plerosfera, (b) Senosfera	15
2.5 Kawasan Pembentukan Zeolit Semulajadi	25
2.6 Kepelbagaian Unit Binaan Sekunder (SBU) Pada Rangka Kerja Zeolit	27
2.7 Julat Suhu-tekanan bagi Penyediaan dan Pemprosesan Bahan.	41
2.8 Gambar rajah Skema Pancaran Sinar-x ke atas Satah Hablur dalam Analisis Pembelauan Sinar-X	43
2.9 Skema Pembelauan Serbuk Sinar-X	44
2.10 Rajah Sinar Tuju X-ray yang menyebabkan Elektron pada Petala Dalam Terkeluar dan Dipenuhi oleh Elektron pada Petala Luar	45
2.11 Rajah Skema Tiub Sinaran -X	46
2.12 Rajah Asas Skema SEM	50
2.13 Rajah Skema BET (Quantachrome Autosorb Automate Gas Sorption Manual Operation, USA)	51
3.1 Carta Alir Pensintesis Zeolit Sintetik daripada Abu Terbang	53
3.2 Peralatan Hidrotermal- (Model Parr Reaktor Mini, Siri 4563 dan Alat Kawalan Suhu, Siri 4843)	57
3.3 Carta Alir Penyediaan Sampel dan Pencirian Abu Terbang	59
3.4 Suhu dan Masa Tindak balas Pelakuran (Campuran Abu Terbang dengan NaOH)	69
3.5 Carta Alir Pensintesis Zeolit daripada Abu Terbang melalui Cara 1 dan Cara 2	70
3.6 Suhu dan Masa Tindak balas	72
4.1 Corak Pembelauan Sinar-X Abu Terbang	82
4.2 Imej 2 Dimensi Abu Terbang	91
4.3 Imej Abu Terbang berdasarkan Saiz	92
4.4 Fotomikrograf Abu Terbang	93

4.5	Keluk Penentukuran Penyerapan (Abs) Melawan Kepekatan (ppm) Ferum	96
4.6	Peratus Berat Ferum dan Nisbah Si/Al selepas Dilarutlesap	97
4.7	Kesan Proses Pra-rawatan ke atas Sampel Abu Terbang terhadap Nilai CEC	98
4.8	Corak Pembelauan Abu Terbang Sampel Abu Terbang (sampel A) dan Campuran Sampel Abu Terbang dengan NaOH yang Telah Dilakur (sampel B)	100
4.9	Corak Pembelauan Abu Terbang dan Produk yang Dijalankan pada Suhu (60,85 dan 105) ^o C dengan Masa Tindak balas selama 4 jam	103
4.10	Corak Pembelauan Abu Terbang Abu Terbang dan Produk yang Dijalankan pada Suhu 85 ^o C dengan Masa Tindak balas selama 4 dan 8 Jam	104
4.11	Corak Pembelauan Abu Terbang Abu Terbang dan Produk yang terhasil daripada Tiga Jenis Komposisi Natrium Aluminat pada Suhu 105 ^o C dengan Masa Tindak balas 4 jam	105
4.12	Corak Pembelauan Abu Terbang Abu Terbang dan Produk Zeolit yang terhasil daripada Cara 1 dan Cara 2 pada suhu 85 ^o C dengan Masa Tindak balas 4 jam	109
4.13	Kesan Suhu dan Masa Tindak balas terhadap Nisbah Silika dan Alumina	112
4.14	Kesan Komposisi Natrium Aluminat terhadap Nisbah Silika dan Alumina	113
4.15	Nisbah Silika dan Alumina Zeolit Sintetik Melalui Cara 1 dan Cara2	114
4.16	Kesan Suhu dan Masa Tindak Balas Zeolit Sintetik terhadap CEC	115
4.17	Kesan Komposisi Natrium Aluminat Zeolit Sintetik terhadap CEC	116
4.18	Perbandingan Nilai CEC Abu terbang dengan Zeolit Sintetik yang terhasil melalui Kaedah Pelakuran dan Tanpa Pelakuran	117
4.19	Kesan Suhu dan Masa Tindak Balas Terhadap Nilai Luas Permukaan Spesifik Zeolit Sintetik	118
4.20	Kesan Komposisi Natrium Aluminat Terhadap Nilai Luas Permukaan Spesifik Zeolit Sintetik	119

4.21	Perbandingan Nilai Luas Permukaan Spesifik Abu terbang dengan Zeolit Sintetik yang terhasil melalui Kaedah Pelakuran dan Tanpa Pelakuran	120
4.22	SEM Fotomikrograf Zeolit yang Disintesis pada Suhu (60,85 dan 105) ^o C dengan Masa Tindak Balas selama 4 dan 8 jam	122
4.23	SEM fotomikrograf abu terbang (≤ 75) μ m dan produk yang Terhasil daripada Kaedah Pelakuran dan Tanpa Pelakuran	123

SENARAI SINGKATAN

1.1

SINGKATAN	BAHASA MELAYU	BAHASA INGGERIS
An	Analsim	Analcime
AS	Aluminum Silikat	Aluminum Silicate
CEC	Keupayaan Penukaran Kation	Cation Exchange Capacity
F	Faujasit	Faujasite
HS	Hidroksi-sodalit	Hydroxy-sodalite
K	Kuarza	Quartz
LTA	Zeolit A Terhidrat	Linde Type A Hydrated
LTAH	Zeolit A Penyahidrat	Linde Type A Dehydrated
LOI	Kehilangan Jisim Pencucuhan	Loss On Ignition
M	Mulit	Mullite
Ma	Magnetit	Magnetite
meq	miliekuivalen	miliequivalen
MW	Megawatt	Megawatt
OFN	Nitrogen Bebas Oksigen	Oxygen Free Nitrogen
PFA	Abu Terbang	Pulverized Fuel Ash
S	Sodium Silikat	Sodium Silicate
S.G	Ketumpatan tentu	Specific Gravity

SENARAI LAMPIRAN

	Muka surat
1.1 Lampiran A1 [Penyediaan Larutan Natrium Aluminat]	138
1.2 Lampiran A2 [Kaedah Penyediaan Asid Piawai] Pempiawaan Larutan Asid Hidroklorik Dengan Natrium Karbonat Tulen	139
1.3 Lampiran B1 [Pengiraan Komposisi Larutan Natrium Aluminat]	141
1.4 Lampiran B2 [Pengiraan Keupayaan Penukaran Kation]	142
1.5 Lampiran B3 [Penentuan Nisbah Silika dan Alumina]	145
1.6 Lampiran C1 [Rekabentuk Eksperimen untuk Analisis Keupayaan Penukaran Kation (CEC)]	147
1.7 Lampiran D [Jadual Penentuan dan Pemerihalan Mineral]	148

SENARAI PENERBITAN & SEMINAR

	Muka surat
1.1 The Use Of Fusion and Hydrothermal Technique In The Conversion Of Fly Ash Into Zeolites	151
1.2 Synthesis and Characterization Of Zeolite From Pulverized Fuel Ash	152

SINTESIS DAN PENCIRIAN ZEOLIT DARIPADA ABU TERBANG

ABSTRAK

Pencirian ke atas sampel abu terbang dari salah satu loji janakuasa di Malaysia telah dijalankan dan digunakan dalam proses pensintesis zeolit. Pensintesis zeolit daripada abu terbang merupakan salah satu alternatif bagi penggunaan semula bahan-bahan terbuang. Sampel abu terbang yang digunakan ini adalah sangat halus (saiz min partikel adalah $6.17\mu\text{m}$). Daripada kajian mineralogi, didapati sampel abu terbang terdiri daripada fasa hablur kuarza, mulit, magnetit dan juga fasa amorfus yang merupakan kaca alumino silikat. Silika dan alumina merupakan komponen utama dan nisbah silika aluminanya adalah 4.4 dimana nisbah ini sesuai dijadikan sebagai bahan pemula zeolit. Secara morfologinya pula, partikel abu terbang kelihatan berbentuk bulat serta mempunyai permukaan licin dan ada juga yang berbentuk senosfera. Beberapa sampel abu terbang (bersaiz $\leq 75\ \mu\text{m}$) telah dipilih untuk menjalani proses pra-rawatan dengan menggunakan kaedah pelarutlesapan asid (kepekatan asid optimum 8M HCL) bagi menyingkirkan kandungan ferum. Dua kaedah pensintesis telah digunakan iaitu kaedah pelakuran dan kaedah konvensional hidrotermal (sampel terpilih). Keadaan pensintesis yang paling optimum bagi kaedah pelakuran iaitu pada suhu 85°C dengan masa tindak balas selama 8 jam telah diaplikasikan dalam kaedah konvensional hidrotermal. Melalui kaedah pelakuran, didapati zeolit dominan yang terhasil adalah campuran zeolit A terhidrat, hidroksi-sodalit dan faujasit. Manakala melalui kaedah konvensional hidrotermal pula, zeolit A penyahhidrat, hidroksi-sodalit dan mulit telah dihasilkan. Kedua-dua kaedah pensintesis menunjukkan nilai CEC yang lebih tinggi berbanding nilai CEC abu terbang. Nilai CEC bagi sampel abu terbang adalah $0.3\ \text{meq}/100\text{g}$, manakala bagi kaedah pelakuran dan konvensional hidrotermal pula, masing-masing adalah sebanyak $13.1\ \text{meq}/100\text{g}$ dan $5.3\ \text{meq}/100\text{g}$. Modifikasi ke atas bentuk partikel sfera abu terbang berlaku pada sampel zeolit yang terhasil melalui kaedah pelakuran.

Didapati, partikel abu terbang yang berbentuk sfera padat telah berubah kepada bentuk yang tidak sekata dan berbentuk kiub. Perubahan bentuk partikel abu terbang ini telah memberi kesan ke atas luas permukaan spesifik. Luas permukaan spesifik zeolit sintetik menunjukkan peningkatan yang amat tinggi daripada nilai luas permukaan abu terbang iaitu dari 3.08 m²/g kepada 92.32 m²/g.

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF ZEOLITE FROM FLY ASH

ABSTRACT

Characterization of fly ash from one of the power plant in Malaysia has been carried out and used for the synthesis of zeolites. The synthesis of zeolites from fly ash appears to be one of the alternatives in the utilization of waste materials. The fly ash samples used were very fine (min size particle was $6.17\mu\text{m}$). From the mineralogical studies carried out, it was found that the fly ash samples were composed of crystalline phase - quartz, mullite and magnetite together with the amorphous phase based on alumino silicates glass. Silica and alumina were the major component and silica alumina ratio was 4.4 at which the ratio appears to be a suitable substrate for zeolite synthesis. Morphologically, the sample appears to be mostly spherical with smooth surfaces and some were cenospheres in shape. Several samples of fly ash (size $\leq 75\mu\text{m}$) undergo pre-treatment process by using acid leaching (optimum acid concentration- 8 M HCL) to remove any deleterious iron content.

Two methods have been carried out for the synthesis of zeolites which are the fusion method and the hydrothermal conventional method (for selected samples). The optimum synthesis condition for fusion method was achieved at 85°C with an 8 hour reaction time was applied to the hydrothermal conventional method. The mixture of linde type A hydrated zeolite, hidroxy-sodalite and faujasite were found to be the dominant type present, particularly synthesized from fusion method, and a mixture of linde typed A dehydrated, hidroxy-sodalite and mullite were identified in some products derived from conventional methods. Both methods of synthesis zeolites, showed that the CEC values of synthetic zeolites were significantly higher compared to the CEC of fly ash. CEC value for the fly ash sample was found to be $0.3\text{meq}/100\text{g}$ while fusion and hydrothermal conventional method, the CEC values were found to be $13.1\text{meq}/100\text{g}$ and $5.5\text{meq}/100\text{g}$ respectively. Surface modification on the spherical like fly

ash particles on the zeolites produced by fusion method was observed to occur by precipitation of irregular and cubical particles. Change in the particle shape of fly ash had an effect on the surface area. Specific surface area of the synthetic zeolite was significantly increased over that of the raw fly ash from $3.08\text{m}^2/\text{g}$ to $92.32\text{m}^2/\text{g}$.

BAB 1 PENGENALAN

1.0 Identifikasi Masalah

Semenjak dua dekad yang lalu, permintaan bekalan kuasa elektrik telah meningkat secara mendadak sealiran dengan peningkatan dan pertumbuhan ekonomi. Jika dirujuk kepada prospektif bekalan tenaga, permintaan tenaga telah meningkat dari 267.3 petajol pada tahun 1980 kepada 11671.1 petajol pada tahun 2000. Pengurangan sumber tenaga minyak dan gas mentah membuktikan bahawa bekalan tenaga yang sedia ada tidak mampu untuk menampung keperluan bekalan kuasa di Malaysia pada tahun 2005 (Rancangan Malaysia Ke-8, 2001). Krisis tenaga ini, merupakan penyebab utama kepada peningkatan penggunaan arang batu sebagai sumber tenaga alternatif. Di Malaysia, di antara stesen-stesen yang membekalkan kuasa elektrik berasaskan arang batu ialah Stesen Janakuasa Elektrik Sultan Salahuddin Abdul Aziz Shah, Kapar, Selangor, Stesen Janakuasa Sejingkat, Sarawak dan Stesen Janakuasa Manjung, Perak.

Proses pembakaran arang batu di stesen-stesen janakuasa tersebut akan menghasilkan sisa-sisa gas seperti SO_x, NO_x, CO₂ dan juga sisa pepejal seperti abu terbang atau lebih dikenali sebagai PFA '*Pulverized Fuel Ash*'. Abu terbang adalah sisa utama pembakaran yang terdiri daripada pelbagai jenis bahan bukan organik seperti lempung, feldspar dan kuarza yang kebanyakannya tidak terbakar sepenuhnya (Stutzman, 1995). Peningkatan penggunaan arang batu sebagai sumber tenaga mempunyai kaitan secara langsung dengan peningkatan pembuangan abu terbang tersebut.

Di Malaysia, anggaran sebanyak 2 juta tan metrik abu terbang telah dihasilkan dan ianya telah dibuang di kawasan-kawasan kolam dan tanah lapang manakala sebilangan kecil sahaja yang digunakan semula (Rancangan Malaysia Ke-8, 2001).

Sisa-sisa gas dan bahan buangan pepejal tersebut perlu dikendalikan secara bijaksana bagi mengelak daripada berlakunya permasalahan persekitaran yang secara tidak langsung menggugat kehidupan manusia. Mengikut kajian yang dilakukan oleh kementerian kesihatan Santhaldih, Purulia di barat Bangal, India didapati abu terbang memberi masalah kesihatan kepada manusia seperti penyakit bronkitis, silikosis dan juga asma. Disamping itu juga, permukaan air yang telah tercemar disebabkan oleh abu terbang akan memberi kesan kepada ekosistem kehidupan laut dan segala aktiviti-aktiviti bawah tanah (Azirun, 2000).

Justeru itu, satu inisiatif perlu diterokai bagi mengatasi permasalahan ini supaya abu terbang ini dapat digunakan semula bagi kegunaan komersial. Di Malaysia, kebanyakan abu terbang diaplikasikan secara komersial sebagai bahan agregat ringan, bahan pengisi, bahan binaan jalan dan perapi tanah. Aplikasi lain abu terbang adalah sebagai bahan mentah kepada penghasilan zeolit sintetik (Azirun, 2000). Abu terbang mempunyai komposisi kimia yang hampir sama dengan batuan vulkanik yang biasanya digunakan di dalam penghasilan zeolit sintetik (Barrer, 1982). Walau bagaimanapun, penerokaan pensintesis zeolit dari abu terbang ini masih belum dikomersialkan terutamanya sebagai bahan penjerap untuk menyingkirkan molekul air sisa, sisa radioaktif ataupun gas dan penggantian fosfat di dalam bahan pencuci. Namun, ianya telah menjadi daya penarik kepada ramai penyelidik di negara ini bagi tujuan tersebut dan secara tidak langsung dapat mengaplikasikan sisa buangan kepada produk yang mempunyai nilai ekonomik yang tinggi dan menyelesaikan masalah persekitaran di negara ini.

1.1 Latar Belakang Dan Kepentingan Kajian

Zeolit adalah bermaksud batuan didih kerana zeolit dikatakan banyak tertabur pada rekahan batuan yang mengalami proses hidrotermal. Sehingga kini terdapat lebih daripada 40 jenis zeolit yang wujud secara semulajadi dan ianya merupakan kumpulan mineral yang terbesar jika dibandingkan dengan kumpulan silikat yang lain (Barrer, 1982). Zeolit adalah struktur rangka kerja berhablur yang terdiri daripada oksigen, silikon, dan aluminum yang bersambung di antara satu sama lain melalui rangkaian kerja tiga dimensi. Rangka kerja tersebut terdiri daripada $(\text{SiO}_4)^{-4}$ dan $(\text{AlO}_4)^{-5}$ tetrahedral yang bersambung serta berkongsi dengan atom oksigen pada setiap bucu tetrahedral (Breck, 1974). Tiga sifat utama zeolit yang mempunyai potensi industri adalah keupayaannya untuk menjerap gas, wap air dan cecair; bertindak sebagai pemangkin dan penukar kation.

Zeolit semulajadi telah dikomersialkan penggunaannya dalam pelbagai kegunaan seperti merawat sisa-sisa nuklear, merawat sisa metalurgi, mengawal pencemaran bau sampah sarap dan menjerap air (Hanson, 1995). Penyelidikan pensintesis zeolit merupakan salah satu strategi yang diterokai secara berleluasa bagi mencari alternatif kepada zeolit semulajadi (Barrer, 1982). Zeolit pertama yang berjaya disintesis adalah pada tahun 1959 dan ianya telah diperkenalkan oleh Barrer (Breck, 1974). Terdapat pelbagai jenis zeolit sintetik yang telah dikomersialkan penghasilan dan penggunaannya di dalam industri. Di antara zeolit sintetik yang telah berjaya dikomersialkan adalah zeolit A, X, Y, L, Omega, ZSM-5, F dan W (Breck, 1974).

Keupayaan zeolit sintetik sebagai pemangkin, penjerap cecair dan gas serta keupayaan penukaran kationnya yang baik telah diakui. Oleh itu, ianya telah diaplikasikan di dalam pengurusan sisa radioaktif, penulenan gas, penapisan petroleum, pertanian dan sebagainya. Tarikan untuk menghasilkan zeolit sintetik ini telah memberi ruang kepada abu terbang sebagai pilihan bahan mentah. Ini kerana,

komponen utama abu terbang adalah sama dengan bahan mentah yang biasa digunakan untuk pensintesis zeolit sintetik.

Istilah abu terbang adalah merujuk kepada bahan halus alumino-silikat yang berhablur seperti kuarza yang terbentuk semasa proses penyejukan. Pada kebiasaannya, abu terbang akan dikutip melalui siklon atau pemendak elektrostatik. Abu terbang adalah jenis oksida yang komposisinya bergantung kepada jenis arang batu yang digunakan semasa proses pembakaran. Komposisi mineralogi abu terbang biasanya wujud dalam bentuk fasa kaca aluminosilikat, fasa hablur (kaolinit, mulit, kuarza, kalsit dan pirit) dan konstitusi sekunder seperti karbon tak terbakar dan CaO. Secara amnya, abu terbang terdiri daripada partikel sfera yang mempunyai diameter di antara (0.5-100) μm . Warna abu terbang pula adalah bergantung kepada kandungan karbon iaitu dari warna cerah kepada warna hitam (Stutzman, 1995). Komposisi utama abu terbang iaitu silika dan alumina amat sesuai untuk pensintesis zeolit dengan reaksi medium bes. Nisbah silika dan alumina yang rendah akan menggalakkan kepada penghasilan Si-Zeolit iaitu zeolit silika rendah. Zeolit silika rendah mempunyai nilai kapasiti penukaran ion yang tinggi, keupayaan pemilihan molekul polar dan isipadu yang besar. Ianya berpotensi untuk diaplikasikan sebagai bahan penjerap (Barrer, 1978).

Pensintesis zeolit sebagai salah satu aplikasi penggunaan semula abu terbang adalah satu langkah yang bijaksana kerana ianya mampu ditukarkan kepada produk yang mempunyai nilai yang tinggi dan secara tidak langsung menyelesaikan masalah persekitaran. Terdapat ramai penyelidik yang telah berjaya menghasilkan zeolit daripada abu terbang melalui kaedah konvensional hidrotermal iaitu menggunakan alkali sebagai medium penukaran abu terbang kepada zeolit pada suhu dan masa tindak balas yang tertentu (Holler dan Wrishing, 1985; Henmi, 1987; Lin dan Hsi, 1995;

Singer dan Berkgaut, 1995; Querol et al., 1997; Woolard, 2002; Poole et al., 2000). Kebanyakan zeolit yang terhasil daripada kajian tersebut adalah campuran zeolit jenis P, zeolit HS, dan hanya sebilangan kecil sahaja yang dapat menukarkannya kepada zeolit X dan zeolit A. Ketidak seragaman struktur dan kelemahan sifat penukar ion pada zeolit tersebut telah menghadkan aplikasinya. Dengan itu, pelbagai kajian dan kaedah telah dicipta dan diubahsuai bagi menghasilkan zeolit daripada abu terbang yang mempunyai aplikasi yang lebih meluas. Di antara kaedah pensintesis yang digunakan ialah dengan cara radiasi gelombang mikro (Querol et al., 1997), kaedah garam lebur (Park et al., 2000) dan kaedah pelakuran yang diikuti dengan kaedah hidrotermal (Shigemoto et al., 1993; Shih dan Chang, 1998; Rayalu et al., 2000; Molina dan Poole, 2004; Somerset et al., 2004 dan Terzano et al., 2005). Setelah pengubahsuaian kaedah pensintesis dilakukan, didapati zeolit yang terbentuk adalah lebih bersifat seragam, mempunyai sifat penukaran ion yang lebih baik dan secara tidak langsung aplikasinya dapat diperluaskan.

1.2 Objektif Kajian

Objektif utama kajian adalah seperti berikut :

- 1) Untuk mensintesis zeolit daripada abu terbang (PFA) melalui kaedah pelakuran diikuti dengan kaedah hidrotermal.
- 2) Untuk melakukan kajian mineralogi [sifat fizikal dan kimia, kajian morfologi (optik dan SEM) dan analisis XRD] ke atas sampel-sampel abu terbang yang terpilih.
- 3) Untuk mengkaji faktor-faktor yang mempengaruhi pensintesis zeolit antaranya ialah kesan proses pra-rawatan ke atas sampel abu terbang (sampel yang terpilih), kesan masa dan suhu penghabluran zeolit, kesan komposisi natrium aluminum silikat (sampel yang terpilih) dan kesan kaedah pensintesis iaitu perbandingan diantara kaedah pelakuran dan kaedah konvensional (sampel yang terpilih).

- 4) Untuk melakukan pencirian zeolit sintetik melalui analisis pencirian seperti analisis pembelauan sinar-x (XRD), analisis komposisi kimia (XRF), keupayaan penukaran kation (CEC), analisis mikrostruktur (SEM) dan analisis luas permukaan (BET).

1.3 Skop Kajian

Tujuan kajian ini dijalankan adalah untuk mensintesis zeolit daripada abu terbang melalui kaedah pelakuran diikuti dengan kaedah hidrotermal. Jenis bahan mentah, pemilihan kaedah pensintesis dan pemilihan kaedah pencirian produk telah dikenalpasti sebelum kajian dijalankan. Kajian ini dijalankan berdasarkan kepada kaedah kajian US Patent 5,965,105 (Rayalu et al., 1999).

Walau bagaimanapun, beberapa pengubahsuaian ke atas tatacara telah dilakukan mengikut kesesuaian bahan mentah, bahan kimia, serta peralatan yang digunakan. Di antara perbezaan kajian yang telah dijalankan ialah melakukan kajian minerologi bahan mentah, melakukan proses pra-rawatan ke atas sampel yang bersaiz $\leq 75\mu\text{m}$, menggunakan julat suhu pengkristalan yang lebih luas, menjalankan analisis keupayaan penukaran kation dan membuat perbandingan di antara kaedah pelakuran (cara 1) dengan kaedah konvensional (cara 2) bagi sampel yang terpilih. Huraian pengubahsuaian ini dinyatakan secara terperinci dalam Bab 3.

Produk-produk yang terhasil bagi kedua-dua cara ini kemudiannya dilakukan analisis pencirian. Di antaranya adalah seperti analisis penentuan fasa (XRD), analisis komposisi kimia (XRF), keupayaan penukaran kation (CEC), analisis mikrostruktur (SEM) dan analisis luas permukaan (BET).

BAB 2 KAJIAN PERSURATAN

2.0 Pengenalan

Bab 2 merupakan bab yang akan menerangkan tentang kajian persuratan. Bab ini akan dibahagikan kepada 4 bahagian utama. Bahagian pertama akan membincangkan perihal abu terbang dan diikuti pula perihal zeolit pada bahagian kedua. Kedua-dua bahagian ini akan merangkumi kesemua aspek yang berkaitan dengan abu terbang dan zeolit seperti aspek pembentukan dan kejadian, bekalan, penggunaan dan aplikasi. Kaedah pensintesis seperti kaedah pelakuran dan kaedah rawatan hidrotermal diterangkan secara menyeluruh pada bahagian ketiga. Teknik-teknik pencirian yang biasa digunakan untuk mencirikan produk yang terhasil juga turut diuraikan secara am pada bahagian terakhir bab ini. Walau bagaimanapun, bahan, kaedah pensintesis dan teknik pencirian yang digunakan di dalam kajian ini akan diterangkan dengan lebih terperinci dalam Bab 3.

2.1 Pengenalan Abu Terbang

Abu terbang atau dikenali sebagai PFA '*pulverised fuel ash*' merupakan produk yang terhasil akibat pembakaran arang batu. Ianya tersebar melalui saluran gas dan dikutip dengan peralatan pemendak yang sesuai. Semasa proses pembakaran, tindak balas kimia akan berlaku dan ini menyebabkan abu terbang terdiri daripada campuran yang heterogenus. Ada yang berbentuk sfera padat, sfera berlubang '*pleosfera*' dan ada juga partikel yang tidak sekata (karbon yang tidak terbakar). Ciri-ciri pada abu terbang amat bergantung kepada jenis arang batu, tahap kecekapan pengisar arang batu, rejim pembakaran, suhu pembakaran dan juga kaedah pembakaran (Santhanam, 1981).

Krisis tenaga merupakan penyebab utama kepada peningkatan penggunaan arang batu. Pengurangan sumber tenaga minyak dan gas mentah telah memberi peluang kepada peningkatan arang batu sebagai sumber tenaga alternatif. Secara tidak langsung, sisa pembakaran arang batu ini akan memberi impak kepada persekitaran. Permasalahan ini turut dirasai di negara kita, dengan itu adalah perlu bagi kita mencari jalan untuk mengoptimumkan penggunaan abu terbang secara komersial dan selamat.

2.1.1 Senario Sumber Tenaga Di Malaysia

Semenjak dua dekad yang lalu, permintaan tenaga untuk kegunaan komersial telah meningkat secara mendadak sealiran dengan peningkatan dan pertumbuhan ekonomi. Jika dirujuk kepada prospektif tenaga, permintaan tenaga telah meningkat dari 267.3 petajol pada tahun 1980 kepada 1167.1 petajol pada tahun 2000. Berdasarkan Jadual 2.1 didapati bekalan sumber tenaga yang utama adalah minyak mentah dan produk petroleum (53.1% daripada jumlah bekalan tenaga pada tahun 2000), diikuti dengan gas asli (37.1%), arang batu dan kok (5.5%) dan hidro (4.4%). Didapati terdapat pengurangan permintaan minyak mentah dan produk petroleum iaitu dari 87.6% (1980) kepada 53.1% (2000). Pengurangan permintaan sumber tenaga ini adalah disebabkan oleh pengurangan bekalan tenaga dan untuk tidak terlalu bergantung kepada satu sumber tenaga sahaja maka sumber tenaga alternatif telah dikenal pasti iaitu arang batu (Rancangan Malaysia ke-8, 2001).

Jadual 2.1: Permintaan Sumber Bekalan Tenaga, 1980-2005
(Rancangan Malaysia Ke- 8, 2001-2005)

Sumber (petajoul)	1980	1990	1998	2000	2005
Produk petroleum	232.4	414.0	714.1	804.3	1,139.1
Elektrik	31.2	71.8	184.7	205.0	320.0
Gas asli	1.5	45.7	100.0	120.0	184.8
Arang batu & kok	2.2	21.5	33.2	378.2	55.9
Jumlah	267.3	553.0	1,032.0	1,167.1	1,699.8

2.1.2 Penggunaan Arang Batu Di Malaysia

Penggunaan arang batu di stesen janakuasa elektrik di Malaysia bermula pada tahun 1988 apabila 2X300 MW unit pembakaran arang batu di Stesen Janakuasa Elektrik Sultan Salahuddin Abdul Aziz (SJSSAA), Kapar dibenarkan beroperasi. Manakala di Sarawak, unit pelan pembakaran di Sejingkat bermula pada tahun 1998 dengan jumlah kapasiti sebanyak 100 MW. Kapasiti bekalan akan berkembang sebanyak 2100 MW di TNB Manjung, Perak dan dua buah lagi pelan IPP sebanyak 2100 MW dan 1400 MW (Rancangan Malaysia Ke-8, 2001-2005). Jadual 2.2 di bawah menunjukkan jumlah dan cadangan kapasiti kuasa di loji pembakaran arang batu bagi tahun (2000-2010).

Jadual 2.2 : Jumlah dan Cadangan Kapasiti Kuasa Di Loji Pembakaran Arang Batu (Rancangan Malaysia Ke-8, 2001-2005)

Kewujudan dan cadangan loji kuasa pembakaran arang batu 2000-2010			
Loji	Kapasiti (MW)	Dijangka siap	Penggunaan arang batu (mtpa)
TNB Kapar (Fasa 1)	600	1998	1.5
TNB Kapar (Fasa2)	1000	2001	2.5
TNB Janamanjung	2100	2002/ 03	6.0
SKS-IPP	2100	2005/ 06	5.7

Jimah-IPP	1400	2005/ 06	3.5
Jumlah	7200	-	19.2

2.1.3 Bekalan Arang Batu Di Malaysia

Secara mutlak, bekalan arang batu yang digunakan di Malaysia diimport dari Australia, Indonesia, China dan Afrika Selatan. Australia dan Indonesia merupakan pembekal utama arang batu di Malaysia dengan peratus bekalan masing-masing sebanyak 60% dan 30% dan selebihnya adalah dari China dan Afrika Selatan. Selain itu, sumber bekalan arang batu juga diperolehi daripada sumber tempatan yang terdapat di Sarawak dan Sabah dan anggaran bekalan adalah lebih kurang 1 billion tan dan ianya hanya digunakan secara ekonomik. Ini kerana, kebanyakan mendapan deposit masih belum diterokai sepenuhnya dan masih di bawah penilaian Jabatan Penilaian Geologi Malaysia. Penghasilan arang batu buat masa kini datangnya dari lombong Global Minerals Sdn.Bhd (Pan Global Group) di Merit Pila, Sarawak. Pada tahun 1999 lombong tersebut telah membekalkan sebanyak 300,000 tan dan kebanyakannya dihantar untuk kegunaan loji kuasa di Sejingkat, Sarawak (2X50 MW). Mendapan arang batu yang terdapat di Malaysia adalah dari jenis sub-bituminus, bituminus dan lignit . Ianya merupakan arang batu yang berkualiti dan sangat sesuai untuk membekalkan tenaga kepada Tenaga Nasional Berhad (Rancangan Malaysia Ke-8, 2001).

2.1.4 Penggunaan Abu Terbang Di Malaysia

Abu terbang merupakan produk utama di dalam proses pembakaran arang batu. Di Malaysia kebanyakan abu terbang digunakan semula di dalam industri pembuatan simen. Walau bagaimanapun pelbagai kajian telah dijalankan untuk mengkaji kegunaan lain dan aplikasinya secara komersial. Di antara aplikasi penggunaan semula abu terbang ialah sebagai bahan agregat ringan, bahan pengisi, bahan binaan jalan, pengisi bahan kimia lengai dan perapi tanah. Di Kapar, abu

terbang dibuang di kolam-kolam dan dibiarkan bercampur dengan air laut. Ini menyebabkan berlakunya masalah persekitaran (Rancangan Malaysia Ke-8, 2001). Oleh itu, satu inisiatif perlu diterokai bagi mengatasi permasalahan ini supaya abu terbang ini dapat diguna pakai semula untuk kegunaan komersial.

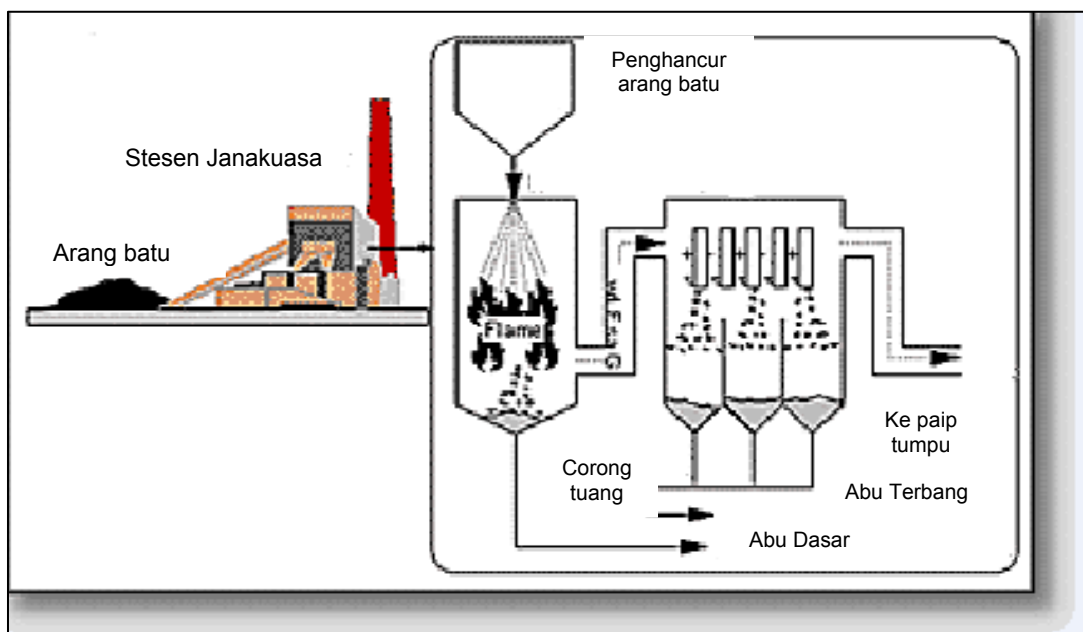
2.1.5 Sifat-sifat Abu Terbang

Di antara produk yang terhasil akibat proses pembakaran arang batu ialah abu dasar '*bottom ash*', abu terbang '*fly ash*' dan pelbagai jenis gas. Abu dasar merupakan sisa pepejal yang telah keluar pada aliran relau dan didapati partikelnya adalah besar dan berat. Warna partikelnya adalah dari warna kelabu kepada warna kehitaman dan permukaannya kelihatan berliang. Semasa proses pembakaran arang batu, gas-gas akan terbebas ke udara dan sebahagian lagi akan termelewap pada permukaan abu terbang.

Abu terbang pula merupakan sisa utama pembakaran arang batu di stesen-stesen janakuasa elektrik. Abu terbang juga dikenali sebagai PFA '*Pulverised Fuel Ash*'. Setiap tangki akan menghasilkan abu terbang yang berlainan jenis kerana ianya bergantung kepada komposisi mineral arang batu yang digunakan. Abu terbang adalah sisa pembakaran yang terdiri daripada pelbagai jenis bahan bukan organik seperti lempung, feldspar dan kuarza yang kebanyakannya tidak terbakar sepenuhnya. Jenis abu terbang bukan sahaja bergantung kepada jenis arang batu yang digunakan, malah cara dan kaedah pengumpulan dan pengutipan abu terbang juga turut memberi kesan ke atas sifat-sifat abu terbang tersebut (Stutzman, 1995).

Abu terbang yang terhasil daripada pembakaran arang batu pada periuk pembakaran terdiri daripada partikel halus yang sangat berhabuk dan keluar melalui saluran gas dan pada kebiasaannya dikutip pada pemendak elektrostatik, rumah pengumpul dan alat pengumpul mekanikal seperti siklon. Secara umumnya terdapat 3

jenis relau pembakaran yang digunakan. Ianya adalah periuk dasar kering, periuk dasar basah dan relau siklon. Di antara jenis periuk yang biasa digunakan adalah jenis periuk dasar kering. Apabila arang batu terbakar di dalam periuk dasar kering, lebih kurang 80% daripada arang batu akan meninggalkan relau sebagai abu terbang dan yang selebihnya akan melekat pada saluran gas. Apabila arang batu terbakar dalam relau lebih kurang 50% akan kekal bertahan di relau dan 50% lagi akan melekat pada saluran gas. Pada relau siklon, arang batu yang dikisar meninggalkan relau sebagai abu kering di saluran gas (<http://www.tfhrc.gov/hnr20/recycle/waste/cfa51.html>). Rajah 2.1 menunjukkan aliran penghasilan abu terbang dari periuk dasar kering.



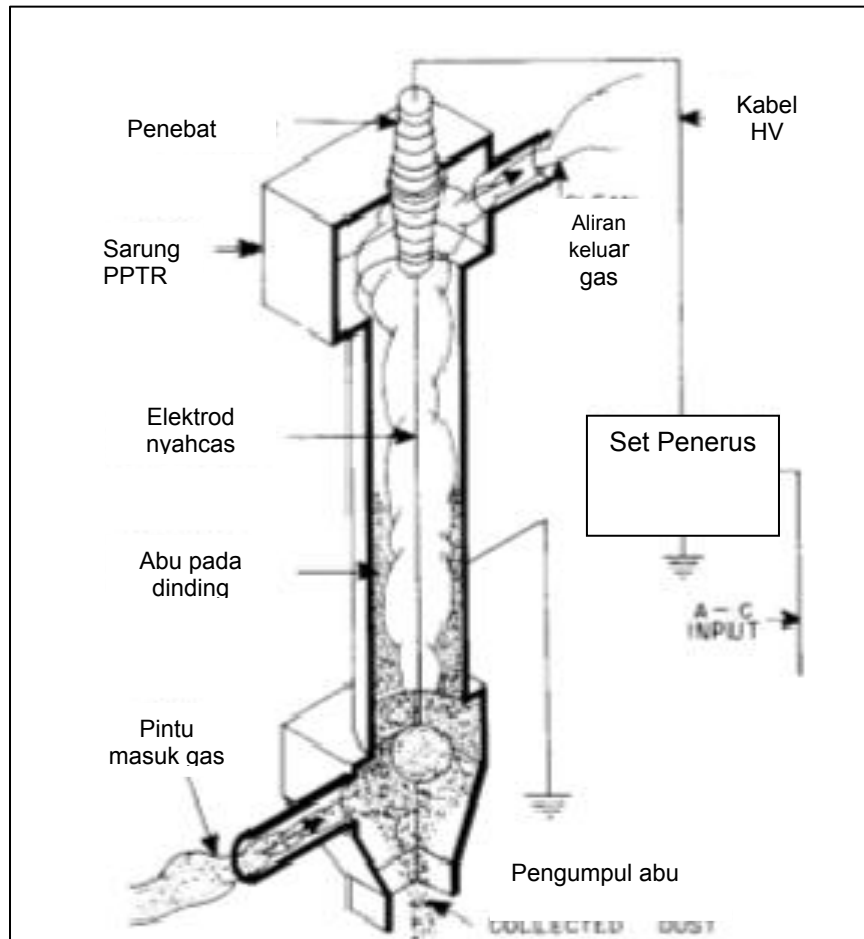
Rajah 2.1: Aliran Umum Penghasilan Abu Terbang (<http://www.tfhrc.gov/hnr20/recycle/waste/cfa51.html>)

Semasa proses pembakaran, arang batu akan disedut masuk ke dalam zon pembakaran dengan menggunakan udara panas dan ini telah meningkatkan suhu pada partikel arang batu. Suhu yang tinggi ini akan menggalakkan penghasilan gas-gas seperti CO_2 , SO_2 dan NO_x . Pada suhu yang lebih tinggi iaitu melebihi daripada 450°C , kandungan air di dalam lempung akan terhidrat. Partikel-partikel arang batu akan teroksida dan kemudiannya akan mula cair. Sisa pertama yang terhasil itulah

yang dipanggil abu dasar. Sodium dan potasium feldspar akan mencair terlebih dahulu. Suhu pencairan juga akan mempengaruhi kandungan besi dan kalsium oksida.

Selain itu, didapati abu terbang yang terbentuk hasil pembakaran arang batu yang mempunyai kandungan alkali yang tinggi akan menghasilkan partikel yang berbentuk sfera dan lebih bersifat kaca/gelas jika dibandingkan dengan arang batu yang mempunyai kandungan alkali yang rendah. Pada suhu di bawah 573°C , mineral kuarza iaitu α -kuarza akan mengalami proses modifikasi kepada β -kuarza. Kuarza ini tidak akan cair kerana suhu pembakarannya tidak mencapai pada suhu 1700°C . Semasa proses penyejukan berlaku, α -kuarza akan terbentuk sekali lagi. Pada peringkat pertama, karbonat akan terurai terlebih dahulu kepada oksida dan gas CO_2 . Besi oksida yang hadir menjadi pemangkin kepada proses penguraian ini (Santhanam, 1981).

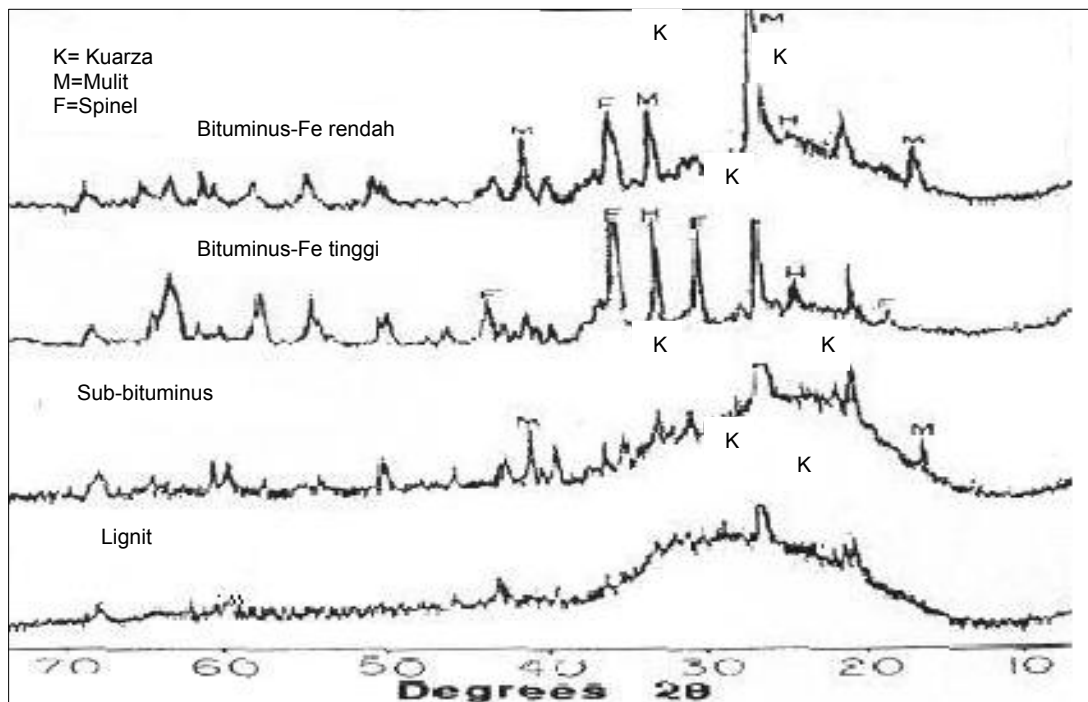
Kebanyakan kaedah yang digunakan untuk pengumpulan abu terbang ialah dengan menggunakan pengumpul elektrostatik. Terdapat empat langkah utama semasa proses pengumpulan abu terbang dengan menggunakan pengumpul elektrostatik. Proses pengumpulan bermula apabila abu terbang pada saluran gas disuap masuk ke dalam dasar pengumpul elektrostatik. Gas tersebut akan dicaskan secara elektrik dengan menggunakan voltan yang tinggi pada elektrod discas. Partikel abu terbang yang telah dicas akan berhijrah dan berkumpul pada elektrod dan kekal buat sementara waktu pada elektrod tersebut. Abu terbang yang terkumpul akan terpisah daripada elektrod apabila wujudnya daya tarikan graviti atau daya mekanikal apabila elektrod dinyahcas (Hemmings dan Bery, 1988).



Rajah 2.2: Rajah Skema Pemendak Elektrostatik (Hemmings dan Bery, 1988)

a) Analisis XRD

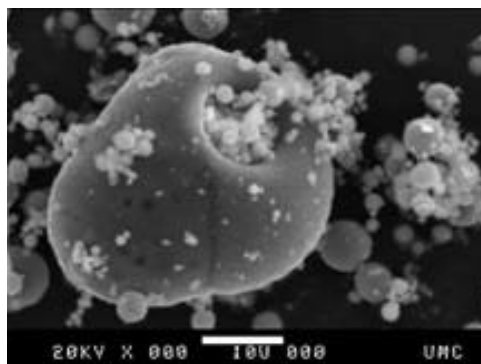
Berdasarkan kepada analisis penentuan fasa, maklumat akan diperolehi mengenai mineralogi dan menentukan fasa yang hadir. Penentuan fasa dilakukan dengan membuat perbandingan dengan paten dari databes yang diperolehi daripada paten yang diterbitkan oleh '*International Center For Diffraction Data*'. Contoh umum paten pembelauan bagi abu terbang ditunjukkan seperti Rajah 2.3. Berdasarkan Rajah 2.3 didapati komposisi hablur yang biasa wujud ialah kuarza, mulit, hematit dan spinel (magnetit), (Hemmings dan Bery, 1988).



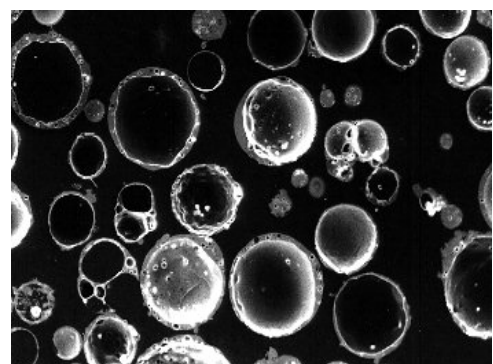
Rajah 2.3 : Paten Pembelauan X-Ray Abu Terbang dari Pelbagai Jenis Arang Batu (Hemmings dan Bery, 1988)

b) Morfologi patikel abu terbang

Terdapat tiga bentuk morfologi yang dapat dilihat pada partikel abu terbang: bentuk bulat yang sekata, sfera padat, bulat sekata, sfera yang berlubang seperti wujudnya dinding yang tipis dipanggil senosfera, dan plerosfera yang mana bentuk senosfera yang mengandungi sfera-sfera kecil di dalamnya (Stutzman, 1995). Rajah 2.4 menunjukkan morfologi bagi partikel abu terbang tersebut.



(a)



(b)

Rajah 2.4 : Morfologi Partikel Abu Terbang; (a) Plerosfera, (b) Senosfera (Stutzman, 1995).

c) Komposisi kimia

Sifat-sifat kimia abu terbang akan mempengaruhi sejauh mana kualiti abu terbang. Terdapat 4 jenis arang batu yang digunakan di dalam proses pembakaran iaitu antrasit, bituminus, sub-bituminus dan lignit. Lanya mempunyai sifat-sifat yang berbeza bergantung kepada komposisi kimia, kandungan abu, pembentukan geologi dan nilai suhu pemanasan. Komponen utama di dalam arang batu jenis bituminus adalah silika dan kalsium dan jumlah karbon yang tinggi telah ditentukan melalui nilai LOI. Lignit dan sub-bituminus mempunyai kandungan kalsium dan magnesium oksida yang tinggi dan peratus silika dan besi oksida dan kandungan karbon yang rendah jika dibandingkan dengan nilai abu terbang jenis bituminus. Jadual 2.3 menunjukkan perbandingan julat normal komposisi kimia di antara arang batu jenis bituminus, sub-bituminus dan lignit.

Jadual 2.3: Perbandingan Julat Normal Komposisi Kimia di antara Arang Batu Jenis Bituminus, Sub-bituminus dan Lignit ([http:// www.tfrc.gov/hnr20/recycle/waste/cfa51.html](http://www.tfrc.gov/hnr20/recycle/waste/cfa51.html)).

Komponen	Bituminus	Sub-bituminus	Lignit
SiO ₂	20-60	40-60	15-45
Al ₂ O ₃	5-35	20-30	10-25
Fe ² O ₃	10-40	4-10	4-15
CaO	1-12	5-30	15-40
MgO	0-5	1-6	3-10
SO ₃	0-4	0-2	0-10
Na ₂ O	0-4	0-2	0-6
K ₂ O	0-3	0-4	0-4
LOI	0-15	0-3	0-5

Didapati lignit dan sub-bituminus mempunyai kandungan kalsium oksida yang lebih tinggi dan nilai LOI yang lebih rendah daripada jenis bituminus. Perbezaan utama di antara kelas F dan kelas C adalah kandungan kalsium dan silika, alumina dan

ferum. Abu terbang jenis kelas F per jumlah tipikal adalah dalam julat 1-12% (dalam bentuk kalsium hidroksida, kalsium sulfat dan komponen kaca-gabungan silika dan alumina). Sebaliknya kelas C abu terbang dilaporkan mempunyai kandungan kalsium oksida setinggi 30-40%. Perbezaan lain di antara kelas C dan kelas F adalah jumlah alkali (gabungan sodium dan potasium) dan sulfat (SO_4). Spesifikasi ini adalah berdasarkan kepada ASTM C 618. Biasanya ia digunakan untuk menentukan sifat abu terbang untuk pembuatan konkrit. Kandungan LOI diukur untuk menentukan karbon yang tidak terbakar di dalam abu terbang.

d) Komposisi mineral

Pengetahuan tentang mineralogi merupakan kunci utama dalam penjelajahan penggunaan semula abu terbang. Komposisi mineralogi abu terbang boleh dibahagikan kepada 3 kumpulan (Minnick, 1979).

- Fasa kaca (66-88% abu dasar dari relau)

Fasa kaca yang terdapat pada abu terbang ialah silika-alumina kaca. Aluminosilikat yang terkandung dalam abu terbang mengandungi berlainan jenis rangka kerja (Si, Al, Fe), kepelbagaian pengubahsuaian rangkaian (oksida Na, K, Ca, Mg), dan komposisi kaca yang mempunyai julat dari polimeris tektosilikat yang tinggi kepada struktur depolimeriz (Hemming dan Berry, 1988).

- Fasa hablur

Fasa hablur yang dijumpai pada partikel abu terbang adalah seperti mulit (komposisi julat dari $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 - 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) / silimanite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$), α -kuarza (SiO_2), hematite (Fe_2O_3), magnetit (Fe_3O_4), kalsium sulfat (CaSO_4), ferik spinel; paten x-ray yang menyerupai magnesit dan magnesioferrit (MgFe_2O_4), diopsid [$(\text{Ca}, \text{Mg}) \cdot (\text{SiO}_6)$], wollastonit ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), sisa minor mineral lempung yang telah lengkap mengalami perubahan.

- Konstituensi sekunder

Arang batu yang tidak terbakar dengan lengkap, batu kapur (CaO), periklas (MgO) dan logam garam terlarut dari konsituensi kedua.

e) Sifat-sifat fizikal

Abu terbang adalah sangat halus dan secara dominannya mempunyai bentuk sfera pejal atau berlubang dan pada kebiasaanya bersifat kaca. Bahan berkarbon di dalam abu terbang diuraikan kepada partikel bersudut. Taburan saiz partikel abu terbang yang berasal daripada jenis bituminus pada kebiasaanya mempunyai persamaan dengan taburan saiz lumpur (<0.0075mm). Walau bagaimanapun saiz abu terbang jenis sub-bituminus adalah lebih kurang sama dengan saiz lumpur dan lebih kasar sedikit daripada abu terbang jenis bituminus (Fisher, 1978). Nilai garaviti tentu biasanya berada di dalam lingkungan 2.1-3.0 manakala luas permukaan spesifik adalah dalam julat 70-1000 m²/kg (ASTM C 618, 1994). Warna abu terbang biasanya berwarna perang, kelabu atau kehitaman. Ianya bergantung kepada jumlah karbon yang terbakar di dalam abu terbang. Semakin cerah warna abu, semakin rendah kandungan karbon di dalamnya. Abu terbang jenis lignit atau sub-bituminus biasanya mempunyai warna kelabu cerah kepada kelabu legap. Ini menunjukkan kandungan karbon yang rendah dan wujudnya batu kapur atau kalsium. Abu terbang jenis bituminus biasanya perang hinggalah ke kelabu dan ini menunjukkan abu terbang yang lebih berkualiti.

2.1.6 Masalah Pembuangan Dan Penggunaan Semula Abu Terbang

Permintaan bekalan tenaga elektrik yang semakin meningkat dari tahun ke tahun mempunyai kaitan dengan permintaan arang batu sebagai sumber tenaga alternatif. Sehubungan dengan itu, abu terbang yang terhasil akibat daripada proses

pembakaran arang batu di stesen-stesen janakuasa elektrik juga turut bergerak seiringan dengan permintaan tenaga. Penghasilan abu terbang ini dijangka akan meningkat dan ini telah menimbulkan permasalahan dari segi tempat pembuangan abu terbang. Abu terbang yang dibuang secara tidak sistematik seperti di kawasan-kawasan kolam dan kawasan tanah lapang dengan secara tidak langsung memberi kesan pencemaran ke atas alam sekitar. Mengikut kajian yang dilakukan oleh kementerian kesihatan Santhaldih, Purulia di barat Bangal, didapati abu terbang memberi masalah kesihatan kepada manusia seperti penyakit bronkitis, silikosis dan juga asma. Disamping itu juga, permukaan air yang telah tercemar disebabkan oleh abu terbang akan memberi kesan kepada ekosistem kehidupan laut dan segala aktiviti-aktiviti bawah tanah (Azirun, 2000) .

Penggunaan semula abu terbang adalah satu langkah yang bijak bagi menangani permasalahan ini. Walau bagaimanapun hanya 3% daripada pembuangan abu terbang yang diguna pakai semula iaitu kebanyakannya di dalam bidang pembuatan bata. Hakikatnya, terdapat pelbagai jenis kegunaan abu terbang yang boleh diperolehi sekiranya ianya dikomersialkan penggunaan industrinya secara besar-besaran.

Di antara penggunaan semula abu terbang secara efektif :

a. Pembuatan konkrit dan bahan-bahan binaan

Aplikasi penggunaan abu terbang sebagai konkrit telah bermula sejak tahun 1950an lagi. Terdapat pelbagai jenis konkrit yang dapat dihasilkan seperti konkrit ringan, konkrit kekuatan tinggi dan konkrit senibina (Manz, 1999). Aplikasi penggunaan abu terbang sebagai bahan binaan ini telah banyak digunakan oleh negara-negara yang membangun beberapa tahun terdahulu sehingga terdapatnya rujukan mengenai penghasilan konkrit daripada abu terbang. Kaedah piawai tersebut boleh dilihat pada

Kaedah Piawai British untuk konkrit dan simen BS 3892 yang telah dikeluarkan pada tahun 1997. Berdasarkan kajian yang telah dilakukan, didapati secara teknikalnya, kekuatan konkrit dan bahan binaan daripada abu terbang ini mempunyai kualiti yang setanding malah lebih baik daripada kualiti konkrit-konkrit yang sedia ada (Manz, 1999).

b. Penghasilan semen

Jika dirujuk kepada kandungan silika, partikel abu terbang adalah berkaca dan mengandungi beribu-ribu butiran kaca. Ianya telah banyak digunakan di dalam pembuatan industri simen iaitu Portlan simen (PCC) lebih daripada 60 tahun dahulu. Ianya digunakan sebagai bahan campuran di dalam PCC. Abu terbang yang hendak digunakan di dalam penghasilan PCC mestilah memenuhi spesifikasi ASTM C 618. Kehalusan, nilai LOI dan kandungan komposisi kimia memberi kesan kepada penghasilan PCC yang baik.

c. Bahan pengisi

Abu terbang digunakan sebagai pengganti pengisi mineral pada asfalt konkrit beberapa tahun yang lalu. Mineral pengisi pada asfalt konkrit ini memerlukan campuran bahan yang mengandungi partikel halus ($<0.075\text{mm}$) untuk memenuhi ruang pada konkrit dan ianya akan bertindak sebagai pengikat bagi menstabilkan campuran. Abu terbang yang digunakan mestilah betul-betul kering dan mempunyai nilai batu kapur (CaO) yang tinggi (Manz, 1999).

d. Penambakan dan bahan pengisi

Pada abad yang lalu, abu terbang telah banyak digunakan sebagai bahan penambakan ataupun struktur bahan pengisi terutamanya di Eropah. Aplikasi ini juga telah banyak digunakan di negara kita. Abu terbang digunakan sebagai pengganti kepada tanah semulajadi. Abu terbang yang hendak digunakan di dalam aplikasi ini mestilah dihimpun dan berada dalam keadaan kelembapan yang terkawal iaitu tidak terlalu kering, tidak terlalu lembap dan tidak berhabuk.

e. Bahan mentah kepada penghasilan zeolit sintetik

Aplikasi lain abu terbang adalah sebagai bahan mentah kepada penghasilan zeolit sintetik. Abu terbang mempunyai komposisi kimia yang hampir sama dengan batuan vulkanik yang biasanya digunakan di dalam penghasilan zeolit sintetik. Penghasilan zeolit sintetik bermula dengan menggunakan mineral daripada kumpulan kaolinit (Barrer, 1982). Mineral kaolinit iaitu lempung adalah mineral yang paling biasa terdapat pada abu terbang. Suhu pembakaran arang batu yang tinggi akan membentuk kaolinit kepada metakaolinit dan aluminum silikon. Kebanyakan kaolinit akan ditukarkan kepada fasa kaca iaitu alumino silikat kaca. Komposisi utama abu terbang amat sesuai untuk penghasilan zeolit dengan reaksi medium bes. Abu terbang yang mempunyai nisbah silika dan alumina yang rendah ($Si/Al < 5$) ini menggalakkan kepada penghasilan Si-Zeolit iaitu zeolit rendah. Zeolit silika rendah mempunyai nilai kapasiti penukaran ion yang tinggi, dan keupayaan pemilihan molekul polar dan isipadu yang besar. Potensi aplikasi sebagai penjerap untuk menyingkirkan molekul daripada air sisa, sisa radioaktif ataupun gas dan penggantian fosfat di dalam detergen (Barrer, 1978).

2.2 Pengenalan Zeolit Semulajadi

Secara umumnya, zeolit terbentuk akibat reaksi liang air dengan bahan-bahan seperti kaca vulkanik, lempung hablur, plagioklas atau silika. Pembentukan zeolit kebiasaanya mempunyai Mg^{2+} , H^+ dan Na^+ , K^+ , dan Ca^{2+} yang tinggi. Bahan perumah yang paling biasa bagi zeolit ialah vulkanik gelas, lempung, montmorillonit, plagioklas, neflinsyanit, biogenik silika dan kuartza. Jenis spesifik zeolit adalah bergantung kepada

masa, suhu, komposisi kaca dan kimia. Suhu pembentukan adalah dari suhu persekitaran kepada 700°C dan tekanan 1 hingga 10,000 atm.

Zeolit wujud dalam skala yang besar, persekitaran geologi yang luas iaitu dari mendapan laut sehingga ke kawasan-kawasan tasik. Sejak 1950, terdapat lebih daripada 1000 zeolit mineral yang terbentuk di bahagian sedimentari asal melebihi 40 buah negara (Mumpton, 1978). Pada tahun 1980-an, terdapat 40 jenis zeolit semulajadi yang dikenalpasti oleh ahli mineralogi.

Formula empirik bagi zeolit ialah :



n merujuk kepada kation valensi M , w ialah nombor molekul air per unit sel, manakala $x+y$ ialah nombor tetrahedral per unit sel, dan y/x nilai 1 hingga infiniti bergantung kepada struktur zeolit. Zeolit yang mempunyai nilai y/x melebihi daripada 10 pada kebiasaannya dikenali sebagai zeolit silika yang tinggi manakala nilai y/x yang kurang atau sama dengan 5 dikatakan zeolit jenis rendah kandungan silika (Barrer, 1978). Zeolit mengandungi siri hidrat, mikro rongga aluminosilikat yang mengandungi kation penukaran (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} dan Ca^{2+}) dan mempunyai sifat penyerapan air. Selain itu, zeolit juga berfungsi sebagai pengayak molekul kerana strukturnya yang berongga dan berliang. Jika dilihat pada struktur dalaman, kadar pemilihan penyerapan molekul adalah bergantung kepada saiz dan bentuk.

Zeolit juga dicirikan berdasarkan kepada sifat-sifat berikut (Breck, 1974):

- Mempunyai darjah penghidratan yang tinggi
- Ketumpatan dan isipadu liang penghidratan yang rendah
- Struktur hablur zeolit yang stabil ketika penghidratan
- Sifat penukaran kation

- Molekul saluran yang sama semasa pendehidratasi hablur
- Kepelbagaian sifat fizikal, seperti mengkonduksi elektrik
- Penjerap gas dan wap
- Sifat pemangkin

Kebanyakan zeolit terbentuk dalam keadaan semulajadi tetapi pada suasana dan sistem geologi yang berbeza (Clifton, 1987).

a. Salin dan tasik alkali

Tasik yang mempunyai tahap pH setinggi 9.5, dikatakan mempunyai kesesuaian persekitaran kepada pembentukan zeolit daripada bahan asal seperti vulkanik gelas, lempung, plagioklas dan kuarza. Pembentukan zeolit memerlukan masa yang panjang iaitu lebih daripada 1000 tahun. Pada kebiasannya, zeolit yang terbentuk adalah jenis filipsit, klinoptilolit dan erionit.

b. Salin, tanah alkali dan permukaan tanah

Analsim merupakan zeolit yang biasa wujud di kawasan ini. Proses penyejukan menyebabkan sodium karbonat-bikarbonat akan bertumpu pada permukaan tanah dan ini akan menggalakkan proses penapisan air hujan dan menjadi lebih berasid. Air yang bersifat asidik ini akan mengubah kaca dan aluminosilikat di dalam tanah.

c. Sedimen lautan dalam

Pada suhu yang rendah dan keadaan pH yang sederhana (pH 7-8), zeolit akan menggantikan 80% daripada sedimen lautan dalaman, biasanya batuan vulkanik. Zeolit terbentuk akibat dari tindak balas kaca dengan liang air. Zeolit yang biasa wujud adalah filipsit (bahagian sedimen yang perlahan) dan klinoptilolit (bahagian sedimen yang pantas).

d. Sistem hidrologik terbuka

Zeolit yang terbentuk pada sistem hidrologik terbuka iaitu dari penapis air bawah

tanah melalui bahan pirolastik berliang adalah kaya dengan kaca yang reaktif. PH dan kandungan pepejal terlarut di dalam air bawah tanah meningkat dan akan bertindak berbalas dengan abu kaca, sehingga zeolit termendak (Hay, 1978). Zeolit yang biasa wujud adalah jenis klinoptilolit, filipsit dan cabazit.

e. Sistem hidrotermal

Pada persekitaran pengzonan, wujudnya kedalaman tertentu adalah disebabkan oleh peningkatan hidrasi kerana suhu yang tinggi. Faktor pengawalan adalah suhu dan komposisi cecair geotermal. Klinoptilolit dan modernit terbentuk pada zon yang cetek dan paling sejuk manakala heulindit dan laumontit/ wairakit wujud pada zon yang lebih dalam dan lebih panas.

f. Sistem burial diagenetik

Mendapan zeolit terbentuk pada sedimen volkano kastik yang mengalami benam dan ini melambangkan pengzonan menegak. Dua tindak balas yang dikenalpasti : siri alkali iaitu klinoptilolit, modernit dan analsim dan siri kalsik termasuk klinoptilolit, heulindit dan laumontit. Lebih banyak zeolit terhidrat yang terbentuk pada kedalaman yang cetek seperti sistem hidrogolik terbuka.

g. Sistem amagmatik

Penghabluran zeolit berlaku semasa peringkat terakhir pembentukan batuan magma. Penghabluran zeolit terbentuk melalui tindak balas di antara cecair dengan batuan keliling. Butiran zeolit terbentuk apabila air yang kaya dengan kandungan magma dipisahkan kepada dua cecair yang tidak boleh bercampur. Zeolit dikategorikan berdasarkan komposisi pukal (silika yang tinggi dan silika rendah). Kebanyakan zeolit yang terbentuk pada batuan igneus adalah analsim, klinoptilolit, heulindit, modernit dan natrolit.

h. Kawasan gunung berapi

Pada kejadian ini, kaca terbentuk melalui perubahan pasakan meteor ke