

BAB II

DASAR TEORI

2.1 ASAP ROKOK

Merokok adalah kegiatan membakar zat, umumnya tembakau, untuk dihisap asapnya. Rokok yang dihisap dapat berupa rokok produksi industri maupun hanya daun tembakau kering yang digulung dengan kertas. Pembakaran rokok akan melepaskan zat aktif yang dikandungnya seperti nikotin sehingga zat aktif tersebut dapat dihisap melalui paru-paru, dan selanjutnya larut di aliran darah. Zat aktif yang terlarut akan memicu reaksi kimia yang pada saraf otak memberikan sensasi yang menyenangkan bagi perokok.

Sejarah merokok tercatat dimulai pada 5000 tahun sebelum Masehi di dataran Amerika dan kini ditemukan di berbagai budaya di seluruh dunia. Merokok pada jaman dahulu diasosiasikan dengan ritual religius, seperti pada upacara adat untuk memberikan ketenangan spiritual. Kegiatan merokok pun menyebar ke Eropa setelah para penjajah menemukan benua Amerika pada abad ke-16 dan pada abad ke-17 seluruh kebudayaan di dunia telah mengenal rokok. Merokok telah bergeser fungsinya dari kegiatan spiritual menjadi kegiatan rekreatif. Tembakau mulai dibudidayakan untuk dijual ke seluruh dunia sebagai komoditas berharga dan rokok mulai diproduksi oleh industri, diikuti oleh pengenaan pajak pada komoditas ini. [4]

Merokok telah diketahui tidak hanya berdampak negatif bagi penghisapnya, namun juga bagi orang yang tidak merokok namun menghisap asap rokok, atau disebut perokok pasif. Tidak hanya terganggu bau asap rokok, namun perokok pasif juga terpaksa menghisap bahan-bahan berbahaya yang terkandung dalam asap rokok, bahkan ditemukan bahwa resiko gangguan kesehatan bagi perokok pasif lebih besar dibanding perokok karena asap rokok mengandung

bahan berbahaya dalam jumlah lebih besar dibanding pada rokok yang dihisap perokok.

2.1.1 Komposisi Asap Rokok

Asap rokok yang disebut juga *Environmental Tobacco Smoke* (ETS) terdiri dari *Mainstream Smoke* yaitu asap yang dihembuskan mulut perokok, dan *Sidestream Smoke* yaitu asap yang dihasilkan dari ujung rokok yang membara. *Environmental Tobacco Smoke* mengandung fase gas dan komponen partikulat. *Sidestream smoke* adalah komponen utama *Environmental Tobacco Smoke* dengan mengandung hampir seluruh dari total fase gas dan lebih dari setengah dari total komponen partikulat. Perbedaan emisi ini diakibatkan oleh perbedaan temperatur pembakaran tembakau, Ph, dan derajat kelarutan asap di udara. *Sidestream smoke* dihasilkan pada temperatur lebih rendah dari *mainstream smoke* yaitu 600°C dibanding 800-900°C pada saat perokok menghembuskan asap, dan pada Ph lebih tinggi yaitu 6.7 - 7.5 dibanding 6.0 - 6.7 pada *mainstream smoke*. Ph lebih tinggi pada *sidestream smoke* menandakan bahan organik terkandung lebih banyak, tidak mengandung asam, dan mengandung ammonia lebih banyak.



Gambar 2.1 Komponen rokok dan asap rokok

Sumber: <http://www.health.gov.bc.ca/ttdr/index.html>



Gambar 2.2 *Sidestream smoke*

Sumber: http://www.quitsmoking.about.com/lr/tobacco_statistics/

Sidestream smoke lebih cepat terlarut di udara, sehingga ukuran partikelnya lebih kecil dibanding *mainstream smoke* sehingga dapat ditemui perubahan fase zat untuk beberapa komponen. Nikotin contohnya, merupakan partikel pada *mainstream smoke*, namun ditemui pada *sidestream smoke* lebih banyak dalam fase gas. Perubahan ini disebabkan kelarutan *sidestream smoke* yang cepat di udara. Ukuran partikel pada *sidestream smoke* umumnya berada pada kisaran 0.01-1.0 μm , sedangkan *mainstream smoke* memiliki ukuran partikel antara 0.1-1.0 μm .

ETS diketahui mengandung campuran lebih dari 4000 jenis komponen zat kimia, dan lebih dari 60 jenis diketahui bersifat karsinogen (zat pemicu kanker) bagi manusia. Beberapa di antaranya:

- Acrolein, merupakan zat cair yang tidak berwarna, seperti aldehyde. Zat ini sedikit banyaknya mengandung kadar alkohol. Artinya, acrolein ini adalah alkohol yang cairannya telah diambil. Cairan ini sangat mengganggu kesehatan.
- Karbon monoksida, sejenis gas yang tidak memiliki bau. Unsur ini dihasilkan oleh pembakaran yang tidak sempurna dari unsur zat arang atau karbon. Zat ini sangat beracun. Jika zat ini terbawa dalam hemoglobin, akan mengganggu kondisi oksigen dalam darah.
- Nikotin, adalah cairan berminyak yang tidak berwarna dan dapat membuat rasa perih yang sangat. Nikotin ini menghalangi

kontraksi rasa lapar. Itu sebabnya seseorang bisa merasakan tidak lapar karena merokok.

- Ammonia, merupakan gas yang tidak berwarna yang terdiri dari nitrogen dan hidrogen. Zat ini sangat tajam baunya dan sangat merangsang. Begitu kerasnya racun yang ada pada ammonia sehingga kalau disuntikkan sedikit pun kepada peredaran darah akan mengakibatkan seseorang pingsan atau koma.
- Formic acid, sejenis cairan tidak berwarna yang bergerak bebas dan dapat membuat lepuh. Cairan ini sangat tajam dan menusuk baunya. Zat ini dapat menyebabkan seseorang seperti merasa digigit semut.
- Hydrogen cyanide, sejenis gas yang tidak berwarna, tidak berbau dan tidak memiliki rasa. Zat ini merupakan zat yang paling ringan, mudah terbakar dan sangat efisien untuk menghalangi pernapasan. Cyanide adalah salah satu zat yang mengandung racun yang sangat berbahaya. Sedikit saja cyanide dimasukkan langsung ke dalam tubuh dapat mengakibatkan kematian.
- Nitrous oxide, sejenis gas yang tidak berwarna, dan bila terisap dapat menyebabkan hilangnya pertimbangan dan mengakibatkan rasa sakit. Nitrous oxide ini adalah jenis zat yang pada mulanya dapat digunakan sebagai pembius waktu melakukan operasi oleh para dokter.
- Formaldehyde, sejenis gas tidak berwarna dengan bau yang tajam. Gas ini tergolong sebagai pengawet dan pembasmi hama. Gas ini juga sangat beracun keras terhadap semua organisme-organisme hidup.
- Phenol, merupakan campuran dari kristal yang dihasilkan dari distilasi beberapa zat organik seperti kayu dan arang, serta diperoleh dari tar arang. Zat ini beracun dan membahayakan, karena phenol ini terikat ke protein dan menghalangi aktivitas enzim.

- Pyridine, sejenis cairan tidak berwarna dengan bau yang tajam. Zat ini dapat digunakan mengubah sifat alkohol sebagai pelarut dan pembunuh hama. [2]

Pada tabel 2.1 dapat dilihat kandungan partikel pada *sidestream smoke*. Kandungan partikel-partikel ini ditemukan dengan jumlah lebih besar dibanding pada *mainstream smoke*.

Tabel 2.1
Komposisi partikel *sidestream smoke*

Konstituen	Massa Partikel Sidestream Smoke per Batang Rokok
	(Miligram per batang rokok)
Condensate	36-67
Total respirable particulate matter	16.9
Nicotine	5.7-11.2
Carbon monoxide	67
Carbon dioxide	474
Nitrogen oxides	0.9
Ammonia	9.1
Formaldehyde	0.7
Acetaldehyde	4.2
Acrolein	1.4
Propionaldehyde	0.9
Benzene	0.3-0.5
Toluene	0.8-1.1
Pyrrole	0.4
Pyridine	0.3
3-Vinylpyridine	0.1-0.4
3-Hydroxypyridine	0.1-0.4
Limonene	0.3
Neophytadiene	0.1-0.2
Isoprene	4.4-6.5
$nC_{27}-nC_{33}$	0.2-0.8
Acetonitrile	1.0
Acrylonitrile	0.2
Formic acid	0.2-0.5
	(Mikrogram per batang rokok)
Hydrogen cyanide	53
Phenol	44-371
o-Cresol	24-98
m + p-Cresol	59-299
Catechol	46-189

Hydroquinone	26-256
Naphthalene	53-177
Phenanthrene	2.4
Anthracene	0.7
Fluoranthene	0.7
Pyrene	0.5
Benz[a]anthracene	0.2
Benzo[a]pyrene	0.1

Sumber: EPA/600/6-90/006F December 1992

2.1.2 Properties Asap Rokok

Penelitian menunjukkan sebagian besar *sidestream smoke* merupakan aerosol yaitu partikel solid dalam suspensi gas, disamping gas hasil pembakaran yaitu gas CO dan CO₂. Jumlah partikel dalam aerosol tercatat sebanyak $6,34 \cdot 10^5$ per cm³ atau mencapai $9,3 \cdot 10^{12}$ partikel per batang rokok. Namun dari jumlah tersebut, partikel yang dapat terhisap pernapasan manusia atau RSP (*Respirable Suspended Particulate Matter*) tercatat sebanyak 16,9 mg per batang. Konsentrasi RSP dianggap sebagai indikasi turunnya kualitas udara dalam ruangan, misalnya RSP sebesar 58 µg/m³ dapat mengakibatkan mata perih dan gangguan pernafasan pada orang sekitar asap rokok. [5]

Sebatang rokok yang terbakar hingga habis rata-rata menghasilkan aerosol dengan *flow rate* sebesar 370 cm³ per menit. Densitas aerosol *sidestream smoke* lebih padat 20% dari densitas udara normal, yaitu sekitar $1,43 \cdot 10^{-3}$ g/cm³. [6]

Tabel 2.2
Properties *sidestream smoke* ETS

No.	Nama	Nilai
1	Diameter Partikel	0.01-1 µm
2	Densitas Partikel	1,2 g/cm ³
3	Jumlah Partikel	$6,34 \cdot 10^5 / \text{cm}^3$
4	Flow Rate Aerosol	370 cc/min
5	Densitas Aerosol	$1,43 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3$

2.2 KARBON AKTIF

Karbon aktif sudah digunakan untuk membersihkan air sejak 2000 tahun lalu, namun baru diproduksi secara komersil pada awal abad 20. Pada awalnya karbon aktif hanya digunakan untuk membersihkan warna gula, namun penggunaannya ditingkatkan untuk menghilangkan warna dan bau pada air. Karbon aktif granular digunakan di masker gas Perang Dunia I, dan penggunaan selanjutnya pada pengolahan air, pembersihan pelarut dan pembersihan udara.

Struktur unik karbon aktif adalah luas permukaannya yang amat besar. Satu gram karbon aktif memiliki luas permukaan 300-3500 m². Karbon aktif bisa dibuat dari berbagai bahan dasar karbon, umumnya batu bara, batok kelapa, kayu dan lignit. Sifat intrinsik karbon aktif bergantung pada material mentah karbon.

Permukaan karbon aktif bersifat non-polar, yang menyebabkan afinitas untuk adsorbat non-polar, yaitu bahan organik. Karbon aktif sangat efektif untuk pembersihan air atau udara, juga penyaringan logam.

Karbon aktif dari batok kelapa terbuat dari batok kelapa yang mengalami proses aktivasi dengan uap untuk membuat bentuk aktif karbonnya. Pada proses aktivasi, terbentuk jutaan pori pada permukaan karbon yang memperluas luas permukaan totalnya. Pori karbon aktif dapat digolongkan menjadi tiga ukuran umum, yaitu Micro-pores (diameter kurang dari 2 nm), Meso-pores (diameter antara 2 – 25 nm), dan Macro-pores (diameter diatas 25 nm). Karbon batok kelapa umumnya terdiri dari micro-pores dan meso-pores dan karena distribusi pori tersebut, karbon batok kelapa banyak digunakan di pembersihan fase gas dan pemurnian air. [7]

Tabel 2.3 Tipe dan *properties* karbon aktif

Tipe Karbon Aktif				
Property	Kelapa	Batu bara	Lignite	Wood (Powder)
Micropore	Banyak	Banyak	Medium	Rendah
Macropore	Rendah	Medium	Banyak	Banyak
Hardness	Baik	Baik	Rendah	n/a
Ash	5%	10%	20%	5%
Apparent Density	0.48 g/cc	0.48 g/cc	0.4 g/cc	0.35 g/cc
Dust Reactivation	Baik	Baik	Rendah	Tidak ada

Sumber : <http://www.ecologixsystems.com>

2.2.1 Penyerapan *Isotherm*

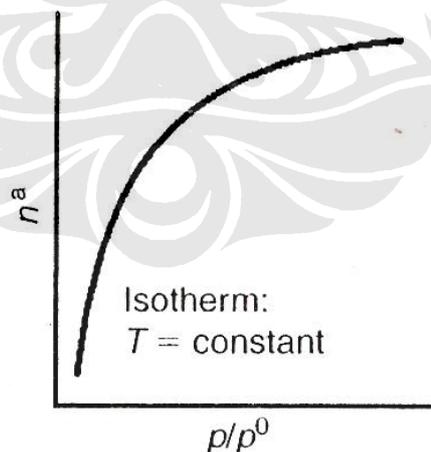
Penyerapan *isotherm* merupakan proses fisik pada karbon aktif dan tidak melibatkan pembentukan ikatan kimia. Gas atau uap pada fase gas dan materi padat pada *solution* disebut *adsorptive* ketika merujuk pada keadaan tidak terserap. Gas atau uap pada fase gas ketika berada pada kondisi terserap disebut *adsorbate* dan materi padat(karbon aktif) sebagai media penyerap disebut *adsorbent*. Penyerapan *isotherm* merupakan banyaknya variasi penyerapan(n^3 dalam mmol g^{-1}) dengan tekanan relatif(p/p^0) pada *adsorptive* dimana terjadi pada kondisi *isotherm*. *Adsorbate* memiliki perbedaan dalam hal ukuran molekul dan polaritas dengan permukaan *adsorbent* sehingga pemilihan lokasi penyerapan yang tepat pada *adsorbent* sangat menentukan keseluruhan proses penyerapan.

Pengontrolan penyerapan fisik gas atau uap dalam fase gas dan padat pada *solution* menggunakan karbon aktif menghasilkan penyerapan *isotherm*. Penyerapan fisik merupakan proses dimana *adsorptive*(gas, uap, dan padat) mulai menempati pori-pori pada karbon aktif. Atom-atom karbon yang saling berdekatan membentuk batas atau permukaan pada pori-pori karbon aktif. Pembentukan permukaan pada pori-pori mengakibatkan molekul-molekul mulai terserap dan tertahan didalamnya. Molekul-molekul *adsorbate* tersebut dapat tertahan dalam pori-pori disebabkan oleh gaya Van Der Waals.

Atom *adsorbate* yang tertahan tidak hanya diam akan tetapi memiliki gerakan internal dan getaran pada ikatan antar atomnya, begitu pula dengan atom *adsorbent*. Semakin besar temperatur penyerapan maka semakin besar pula

amplitudo atau frekuensi getaran yang dihasilkan. Lokasi penyerapan dengan temperatur yang lebih besar dibandingkan amplitudo/frekuensi atom terdapat hampir diseluruh permukaan. Lokasi tersebut memiliki kenaikan/lonjakan temperatur sehingga terdapat cukup energi untuk menggerakkan molekul *adsorbate* menuju lokasi penyerapan lainnya. Molekul *adsorbate* dikeluarkan dari lokasi penyerapan memanfaatkan kenaikan temperatur yang berlangsung sesaat pada lokasi tersebut dan digantikan oleh molekul *adsorbate* lainnya. Molekul *adsorbate* bergerak sebanyak 10^{15} kali dalam satu detik dan pada kondisi setimbang jumlah molekul yang masuk sebanding dengan jumlah molekul yang keluar sehingga laju penyerapan dapat dikatakan tetap konstan.

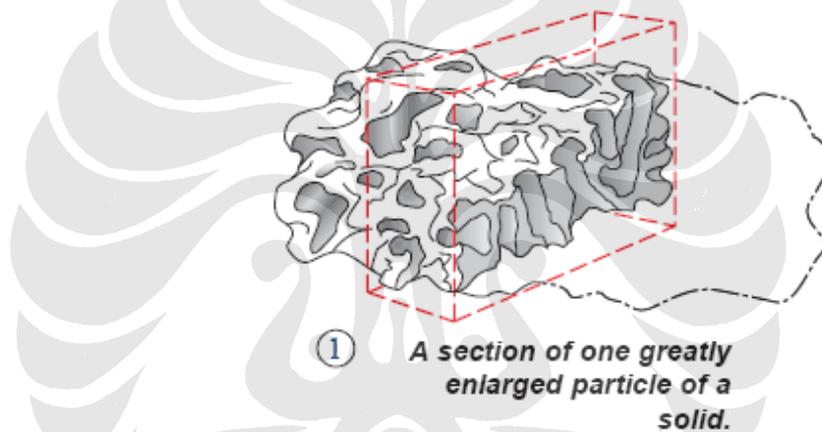
Energi potensial penyerapan sangat bergantung pada ukuran pori-pori, semakin besar ukuran pori-pori maka energi potensial yang dihasilkan pun semakin kecil sedangkan ukuran pori-pori makin kecil menghasilkan energi potensial yang besar. Lokasi penyerapan dengan energi potensial besar terisi terlebih dahulu oleh molekul *adsorbate* dan selanjutnya molekul bergerak menuju lokasi dengan energi potensial yang lebih rendah hingga tidak lagi terdapat tekanan relatif (p/p^0). Proses penyerapan berlangsung secara kontinu tanpa kehadiran gangguan dan hal ini terlihat pada kurva penyerapan isotherm.



Gambar 2.3 Kurva penyerapan *isotherm*
[Sumber: Harry Marsh, *Activated Carbon*]

2.2.2 Surface Area

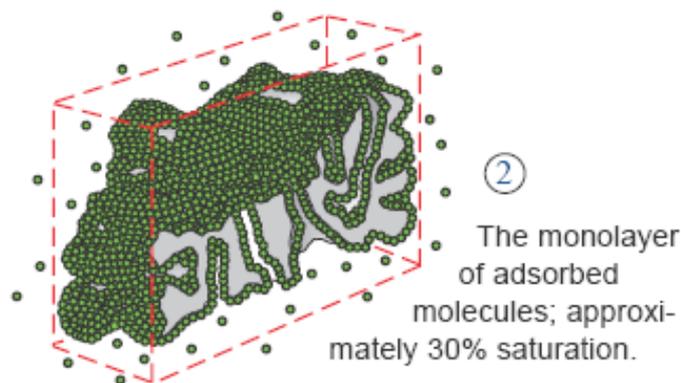
Surface area merupakan suatu cara atau metode untuk mengetahui kapasitas penyerapan. Tahapan yang harus dilalui untuk mengetahui seberapa besar kapasitas penyerapan suatu *adsorbent* meliputi persiapan *adsorbent*, pembentukan *monolayer*, pembentukan *multilayer*, dan pengisian pori-pori secara penuh oleh *adsorbate*. *Adsorbent* yang digunakan untuk mengetahui kapasitas penyerapan harus dibersihkan terlebih dahulu menggunakan metode *degassing* untuk mengeluarkan kontaminan yang terdapat pada *adsorbent* seperti air dan minyak. Gambar 2.4 merupakan suatu permukaan *adsorbent* yang telah diperbesar dan telah mengalami proses *degassing* yang memperlihatkan pori-pori dalam berbagai ukuran dan bentuk.



Gambar 2.4 Permukaan *adsorbent* yang telah diperbesar

Sumber: <http://www.quantachrome.com>

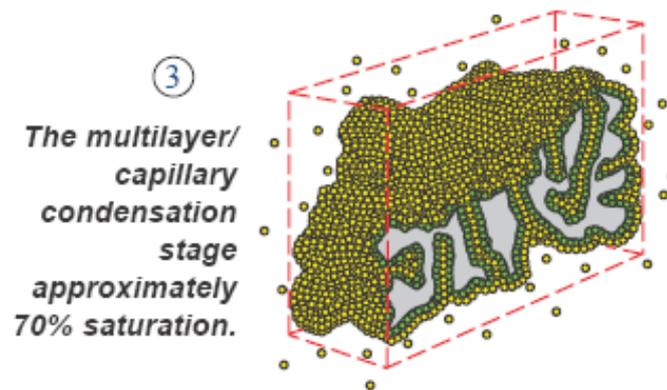
Setelah *adsorbent* mengalami proses persiapan maka tahap selanjutnya merupakan pembentukan *monolayer*. *Adsorbent* yang telah dibersihkan kemudian ditempatkan pada suatu isolasi dengan temperatur konstan. Sejumlah *adsorbate* kemudian dialirkan menuju *adsorbent* dan sebagian molekul *adsorbate* tersebut terserap pada pori-pori *adsorbent* membentuk lapisan tipis yang menyelimuti seluruh permukaan *adsorbent*. Berdasarkan teori Braumeur, Emmet, Teller (BET) maka jumlah molekul yang dibutuhkan untuk menyelimuti permukaan *adsorbent* dapat diestimasi dengan mengalikan jumlah pembentuk *monolayer* dengan luasan area yang diselimuti oleh *adsorbate*.



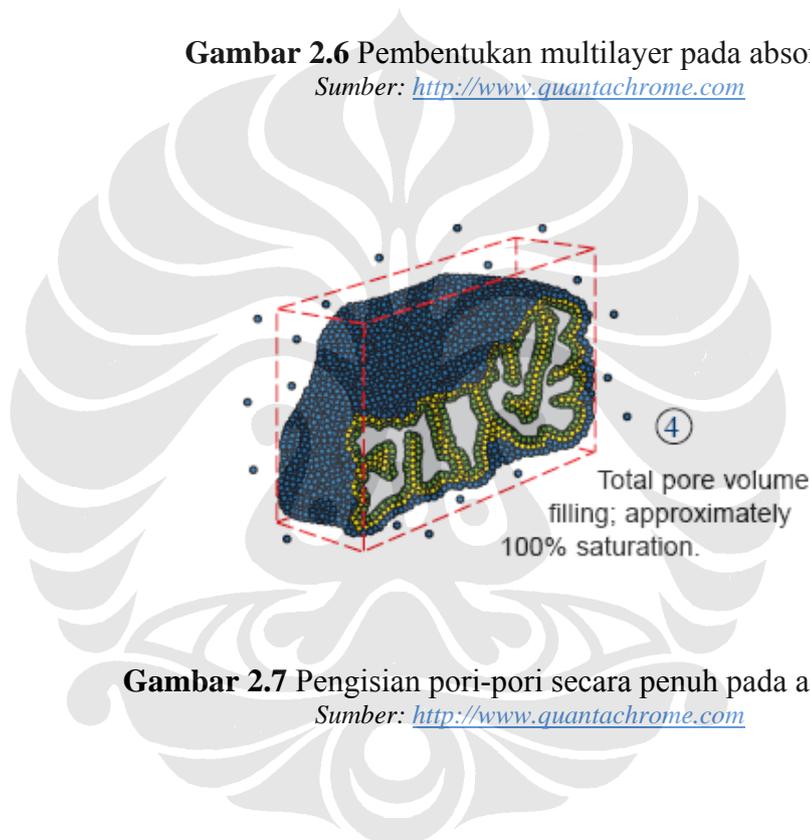
Gambar 2.5 Pembentukan monolayer pada adsorbent

Sumber: <http://www.quantachrome.com>

Penambahan secara bertahap *adsorbate* pada *monolayer* menghasilkan pembentukan *multilayer* (gambar 2.6). Proses pembentukan *multilayer* berlangsung secara *capillary condensation* dan terjadi pada *mesoporosity*. Proses secara *capillary condensation* dijabarkan oleh persamaan Kelvin dengan mengetahui hubungan proporsional antara tekanan residual *adsorbate* dengan ukuran kapilar yang mampu dilewati molekul *adsorbate* yang terkondensasi. Metode lain yang dapat digunakan ialah metode yang dikembangkan oleh Barret, Joyner, dan Halenda (B.J.H) menggunakan perhitungan ukuran pori-pori berdasarkan tekanan equilibrium *adsorbate*. Dengan menggunakan kurva penyerapan *isothermal* yang menghubungkan volume *adsorbate* dengan tekanan relatif saturasi pada equilibrium lalu dikonversikan menjadi persamaan diferensial distribusi ukuran pori-pori adsorbent. Pada equilibrium tekanan *adsorbate* mendekati saturasi dan mengakibatkan keseluruhan pori-pori terisi penuh oleh molekul *adsorbate* (gambar 2.7). Dengan mengetahui densitas *adsorbate* maka dapat diketahui volume yang terisi oleh adsorbate.



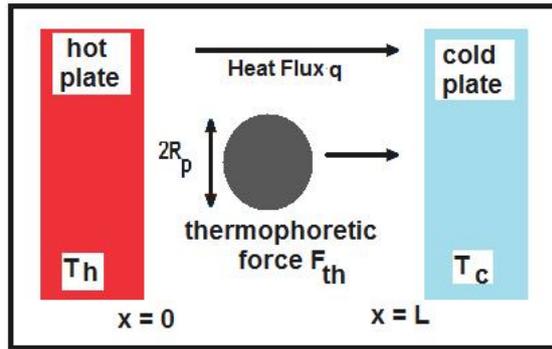
Gambar 2.6 Pembentukan multilayer pada adsorbent
Sumber: <http://www.quantachrome.com>



Gambar 2.7 Pengisian pori-pori secara penuh pada adsorbent
Sumber: <http://www.quantachrome.com>

2.3 THERMOPHORESIS

Gaya thermophoresis adalah fenomena pergerakan partikel dalam aliran fluida yang diakibatkan oleh perbedaan temperatur dalam sistem aliran fluida tersebut. Fenomena ini disebabkan oleh transfer momentum dari lingkungan sekitar ke partikel melalui media panas. Perbedaan momentum pada partikel terbentuk akibat perbedaan temperatur. Partikel akan bergerak dari daerah dengan temperatur tinggi menuju daerah temperatur lebih rendah. Lingkungan sekitar partikel diasumsikan dalam kondisi diam tanpa aliran udara dan tidak ada gaya-gaya lain yang bekerja pada partikel.



Gambar 2.8 Gaya thermophoresis pada dua pelat

Fenomena diatas dikenal dengan thermophoresis dan pertama kali diketahui oleh Tyndall dalam percobaannya menggunakan gas yang mengandung debu. Dalam percobaan tersebut di sekitar daerah bertemperatur tinggi terdapat *dust free zone* yang dapat dibuktikan dengan mengurangi pencahayaan atau menggelapkan pada daerah bertemperatur tinggi. Gaya thermophoresis digunakan dalam berbagai bidang seperti pembersihan gas, perlindungan permukaan dari deposisi partikel, dan *aerosol thermal precipitator*.

Asap rokok merupakan partikel aerosol yang tersuspensi dalam fase gas, dengan diameter partikel yang kecil yaitu $0,01 \mu\text{m} \leq d_p \leq 1 \mu\text{m}$. Persamaan yang digunakan pada asap rokok didasarkan pada *small aerosol particles*. *Small aerosol particles* merupakan partikel aerosol yang memiliki rasio diameter dengan *mean free path* yang kecil. Perhitungan eksak pada *small aerosol particles* telah dilakukan oleh Waldmann untuk mengetahui gaya-gaya yang bekerja pada *small aerosol particles*. Perhitungan tersebut berdasarkan transfer momentum per satuan waktu pada partikel dengan melakukan pelepasan dan pembentukan molekul. Metode transfer momentum Waldmann untuk gaya-gaya yang bekerja pada partikel dalam gas ialah:

$$F = -\frac{32}{2} R^2 \left[\left(1 + \frac{\pi}{8} a \right) p (v^{sph} - v) + \frac{1}{5} \lambda_{trans} \nabla T \right] / \bar{c} \dots\dots (2.1)$$

Persamaan diatas mengandung dua komponen gaya yang terdapat pada partikel yakni gaya gesek dan thermophoresis. Gaya gesek yang bekerja pada partikel sangat bergantung pada nilai *coefficient of thermal reflection* (a) dan kecepatan relatif antara partikel dan gas ($v^{sph} - v$). Sedangkan untuk gaya thermophoresis tidak dipengaruhi oleh *coefficient of thermal reflection* (a) dan kecepatan relatif antara partikel dan gas ($v^{sph} - v$). Persamaan momentum transfer Waldmann tersebut dapat direduksi untuk mengetahui gaya thermophoresis yang bekerja pada partikel dengan menghilangkan gaya gesek yang bekerja pada partikel. Gaya thermophoresis yang bekerja pada partikel dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$F_{th} = -\frac{32}{2} R^2 \cdot \frac{1}{5} \lambda_{trans} \nabla T / \bar{c} \dots\dots (2.2)$$

Kecepatan partikel menuju sisi dengan temperatur rendah dapat diketahui berdasarkan metode transfer Waldmann, perhitungan tersebut diasumsikan bahwa molekul gas berada dalam kondisi *steady-state*. Pada kondisi stady-state keseluruhan gaya yang bekerja pada partikel tidak ada ($F = 0$), sehingga kecepatan partikel dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$v^{sph} = -\frac{1}{5 \left(1 + \frac{\pi a}{8} \right)} \frac{\lambda_{trans}}{p} \nabla T \dots\dots (2.3)$$

Persamaan kecepatan diatas merupakan *thermophoretic velocity* dan besarnya tidak bergantung pada radius partikel. Hal ini sesuai dengan radius partikel yang sangat kecil bila dibandingkan dengan *mean free path*.