

## II KARAKTERISTIK BAHAN

### BAB 9 : BAHAN LIQUID

Liquid adalah fluida yang memiliki volume dan temperature di tiap titiknya. Contoh, 1 mol air pada temperatur  $20^{\circ}\text{C}$  menempati ruangan bervolume  $18,04\text{ cm}^3$ , tanpa memperhatikan ukuran dan bentuk dari ruang yang ditempatinya. Meskipun volume cairan yang menempati ruang dapat berkurang dengan tekanan yang sangat besar, untuk kebanyakan tujuan cairan tidak dapat dipadatkan. Jadi tidak ada perubahan yang signifikan dalam volume air yang ditekan dalam berbagai variasi tekanan antara 0 – 10 atm. Ini merupakan perbedaan yang sangat terlihat antara air dengan gas. Gas dapat di tekan hingga 10 kalinya. Pada bab ini kita akan membahas berbagai karakteristik dari cairan untuk kepentingan ilmu biologi.

#### 9.1 PANAS DARI PENGUAPAN

Letak molekul – molekul gas saling berjauhan, buktinya interaksi antar molekul tidak memberikan pengaruh terhadap perilaku gas. Dalam cairan atau bahan lain, molekul – molekul penyusun saling berinteraksi antar tetangga sebelahnyanya. Interaksi inilah yang mempertahankan cairan selalu bersama dari pengaruh luar. Meskipun demikian molekul – molekul cairan seperti dalam gas, mereka dapat bergerak bebas kemana saja dalam bahan fluida, oleh karna itu liquid tidak dapat mempertahankan bentuknya karna pengaruh gaya luar.

Molekul – molekul penyusun liquid yang berada di dalam, gaya interaksinya bekerja satu sama lain ke segala arah. Seperti gambar di samping, gaya yang bekerja pada sebuah molekul pada waktu tertentu. Selama molekul - molekul dalam liquid bergerak konstan, gaya yang bekerja pada satu molekul berubah secara konstan. Bagaimanapun, jumlah rata – rata gaya yang bekerja pada molekul adalah nol, maka tidak ada gaya resultan pada molekul yang berada didalam permukaan liquid.

Berbeda kondisinya dengan molekul yang berada di permukaan liquid, karna sebagian daerahnya berinteraksi dengan molekul lain. Gambar disamping menunjukkan gaya yang bekerja pada satu buah molekul di permukaan liquid. Resultan gaya yang bekerja tidaklah nol. Sebaliknya resultan gaya yang bekerja mengarah ke dalam liquid. Gaya inilah yang mempertahankan molekul keluar dari liquid.

Beberapa molekul menguap dari liquid, hal ini dikarnakan gaya hanya bekerja pada jarak yang dekat dengan permukaan dan energy yang cukup untuk menembus pertahanan gaya permukaan, sehingga molekul dapat lepas.

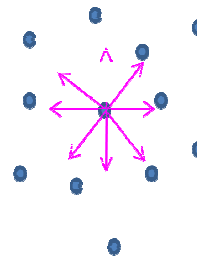


Figure 1  
Force on a molecule in the interior  
Of a liquid. The sum of these forces is zero

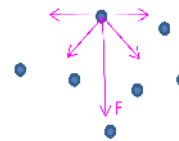


Figure 2  
Force on a molecule at the surface  
Of a liquid. The sum of these forces is F

Untuk kemudahan, bayangkan bahwa besar gaya di daerah liquid adalah konstan dan nol untuk daerah diluar liquid. Lalu gaya melakukan usaha  $-Fd$  untuk melepaskan molekul, dan juga jika molekul mempunyai energy kinetic  $K_A$  di titik A dalam permukaan liquid, energy kinetic  $K_B$  dititik B, mengikuti teorema usaha dan energy diperoleh

$$K_B - K_A = - Fd$$

Selama nilai  $K_B$  nol, maka  $K_A$  harus sama dengan  $Fd$ . Molekul yang memiliki energy kinetic di titik A berkurang sebesar  $Fd$  maka molekul tersebut akan berhenti sejenak sebelum menuju titik B, dan akan menarik kembali ke permukaan.

Oleh karna itu dibutuhkan energy minimum  $w = Fd$  untuk memisahkan satu buah molekul dari liquid. Dibuthkan energy minimum ( $Hv$ ) untuk memisahkan seluruh molekul dalam 1 mol liquid sebesar  $Nw$ , dengan  $N$  adalah bilangan Avogadro. Tentu saja sebagian dari seluruh molekul dalam liquid berubah menjadi gas.  $Hv$  disebut molar heat vaporization yang didefinisikan sebagai energy minimum yang dibutuhkan untuk menguapkan 1 mol bagian liquid. Nilai  $Hv$  untuk berbagai jenis liquid diberikan pada table 9.1

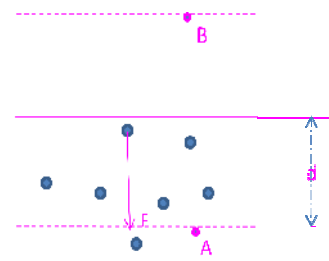


Figure 3  
Work  $-Fd$  is done by the surface of A liquid on a molecule leaving the liquid

TABLE 9.1 Molar heat of vaporization and surface tension of some liquids

The liquids are listed in order of increasing molar heat of vaporization. Since the heat of vaporization and the surface tension both depend on temperature, the temperature is listed first.

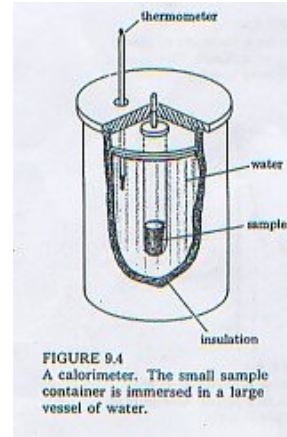
Liquid	Temperature, °C	Heat of vaporization, kcal/mol	Surface tension, N/m
Helium	-270	0.0275	0.000239
Hydrogen	-255	0.250	0.00231
Oxygen	-183	1.7	0.0132
Chloroethane	20	6.3	0.020†
Ethanol	20	9.7	0.0227
Tissue fluid	37		0.050
Blood, whole	37		0.058
Blood plasma	37		0.073
Water	100	9.70	0.0589
	50	10.24	0.0679
	20	10.55	0.0727
	0	10.75	0.0756
Mercury	20	15.1	0.4355
Tungsten	3410	180	2.5

†Estimated.

Energy w harus lebih besar dari energy kinetic rata – rata molekul dalam liquid, jadi hanya energy yang besar (extremely energy) yang dapat menguapkan molekul – molekul liquid. Ketika molekul meninggalkan liquid, sisa energy rata – rata melekul terus berkurang. Temperature dalam liquid turn karena tempeeratur berbanding lurus dengan rata – rata energy molecular. Temperature turun secara bertahap mengikuti penurunan temperature daerah sekitarnya, aliran panas dari daerah sekitarnya masuk ke dalam liquid, memberikan energy untuk menguap.

Penas yang diberikan untuk menguapkan liquid diukur dalam calorimeter.

Alat ini terdiri dari kotak kecil sederhana yang dibenamkan dalam bejana yang berisi air. Bejana ini berfungsi untuk mencegah pengaruh panas dari luar ke air yang berada didalam bejana. Liquid yang akan dipelajari ditempatkan didalam kotak yang sederhana tadi, panas dari air sekitar mengalir ke dalam container, menurunkan temperature dalam air. Dari hasil perhitungan diketahui bahwa temperature air berkurang sebagai akibat dari penguapan liquid yang kita tahu. Dari pengukuran penguapan liquid diketahui bahwa temperature air dalam bejana berkurang, panas dari penguapan liquid tersebut dapat ditentukan. Tentu saja dibutuhkan ketelitian yang sangat tinggi untuk mengurangi adanya panas yang hilang dari atas bejana calorimeter.



Sebagai contoh : ketika 5 g ethanol,  $C_2H_5OH$ , menguap dari tabung calorimeter, temperature disekitar air turun  $0.42^{\circ}C$ . Jika massa air 2.5 kg, maka  $2.5 \text{ kg} \times 0.42^{\circ}C = 1.05 \text{ kcal}$  panas yang dibutuhkan untuk menguapkan ethanol. Panas dari penguapan adalah  $1.05 \text{ kcal}/5 \text{ g} = 0.21 \text{ kcal/g}$ , adalah panas penguapan yang dibutuhkan per gram-nya. The molar heat of vaporation  $H_v$  dapat dicari dengan cara menghitung panas tiap gram dalam mole. Mol ethanol 46 g (  $M = 2 \times 12 + 6 \times 1 + 16 = 46$ ), maka  $H_v = 46 \text{ g/mol} \times 0.21 \text{ kcal/g} = 9.7 \text{ kcal/mol}$ .

Molar heat of vaporization sangat dibutuhkan karena erat hubungannya dengan besar gaya **F** oleh :

$$H_v = Nw = NFd$$

Molekul – molekul sangat berbeda dalam besar gaya yang bekerja padanya. Bagaimanapun jarak d untuk gaya molekul adalah mendekati sama untuk semua molekul (antara  $10^{-8}$  sampai  $10^{-7}$  cm) oleh karna itu molar heat of vaporization besar atau kecilnya bergantung pada besar gaya molekulnya. Bahan dengan nilai  $H_v$  yang sangat kecil ( seperti helium dan oksigen) mempunyai gaya molekul yang lemah dan gas pada temperature normal. Bahan tersebut dapat dicairkan cukup dengan temperature yang rendah.

Disamping itu, bahan yang memiliki nilai  $H_v$  yang besar (seperti tungsten) adalah berbentuk padat pada suhu normal dan cair hanya pada temperature yang tinggi. Bahan yang memiliki nilai  $H_v$  sedang (intermediate) seperti (ethanol dan air) adalah cair pada suhu normal.

Panas dari penguapan per gram barangkali lebih sering digunakan karna memberikan cooling potential spesifikasi massa pada liquid. Molar heat of vaporization dapat di lihat dari table 9.1 jika massa molekul diketahui. Untuk contoh, panas dari penguapan air adalah

$$\frac{11 \text{ /}}{18 \text{ —}} = 0.61 \text{ /}$$

Ini berarti bahwa untuk menguapkan 1 g air dapat mendinginkan 1 kg water  $0.61^\circ\text{C}$ . pada umumnya, 1 mol chloroethane (ethyl chloride),  $\text{H}_2\text{C}_5\text{Cl}$ , berisi 64.5 g, panas dari penguapannya adalah

$$\frac{6.3 \text{ /}}{64.5 \text{ /}} = 0.097 \text{ /}$$

Jadi penguapan 1 g chloroethane dapat mendinginkan 1 kg air sebesar  $0.097^\circ\text{C}$ .

Air memiliki nilai heat of vaporization per gram lebih besar dari liquid pada umumnya, oleh karna itu disebut pendingin ideal. Banyak sistem bniologi yang menggunakan penguapan air untuk pendinginan. Ini diketahui dengan baik, sebagai contoh, burung dan hewan mamalia mempertahankan suhu tubuh agar tetap konstan dengan cara menguapkan air (by evaporating water to remove excess heat). Air menguap dari permukaan kulit (pada manusia dan kuda) atau dari paru – paru (seperti burung dan anjing). Kurang lebih telah diketahui bahwa lebah juga menggunakan penguapan untuk mempertahankan sarangnya agar suhu tetap konstan, meskipun suhu tubuhnya sendiri tidak konstan. Jika temperature dalam sarang diatas  $35.5^\circ\text{C}$ , lebah pekerja akan berhenti membawa nectar kedalam sarang dan mulai membawa air. Air ini ditaro diselah – selah sarang, lalu dikipasi oleh lebah untuk mempercepat penguapan. Begitu juga dengan tumbuhan, menjaga suhunya agar tetap dingin dengan cara penguapan. Pada musim panas yang panas, suhu pohon lebih dingin daripada tanah disekitarnya, ini dikarnakan penguapan air yang dilakukan oleh daun – daunnya.

Laju penguapan air bergantung pada kelembapan udara. Jika kelembapan udara tinggi, kondensasi uap molekul dari  $\text{H}_2\text{O}$  hamper lebih cepat daripada penguapan air di permukaan. Jumlah total penguapan sangat kecil, sehingga kapasitas pendinginan air juga kecil. Ini adalah alasan kenapa pada cuaca yang lembab, sangat tidak menyenangkan. Pada kenyataannya, temperature penguapan air tidak dapat jatuh dibawah titik jenuh temperature, yaitu dimana temperature yang laju penguapannya sama dengan laju kondensasi.

Cairan seperti chloroethane, yang mempunyai panas penguapan yang kecil disebut *volatile*. Dibutuhkan energy ebih kecil untuk menguapkan molekul chloroethane daripada molekul air; oleh karna itu memberikan temperature lebih kepada molekul chloroethane dapat menyebabkan

penguapan lebih besar. Cairan volatile menguap lebih cepat daripada air, meskipun penguapan panas yang ditinggalkan per gram kecil, laju panas yang ditinggalkan adalah besar. Chloroethane digunakan untuk anesthetize daerah kecil pada kulih oleh pendinginan kulit. Contoh, penguapan 2 g chloroethane meninggalkan 195 cal dari volume yang kecil dari tisu dalam beberapa menit saja. Ini cukup untuk mendinginkan 5 g tisu pada  $0^{\circ}\text{C}$ . waktu menjadi sangat penting karna laju penguapan mesti lebih cepat daripada laju panas yang mengalir pada tisu.

## 9.2 SURFACE TENSION

Permukaan cairan memiliki karakteristik yang khusus karna gaya molekul – molekul yang bekerja padanya. Total permukaan pada cairan, bukan volume, dapat berubah sesuai dengan perubahan bentuk dari cairan tersebut. Tetapi untuk meningkatkan daerah permukaan, molekul – molekul didalam cairan mesti pindah ke permukaan. Ini terlihat dari gambar 9.3 permukaan melakukan usaha sebesar  $-Fd$  oleh molekul – molekul untuk pindah dari dalam ke permukaan cairan, yang berarti bahwa usaha  $-Fd$  adalah usaha yang dibutuhkan untuk membawa molekul ke permukaan. Jadi usaha disini mempunyai peranan untuk meningkatkan daerah permukaan pada cairan.

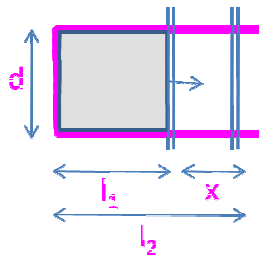


Figure 5  
A film of liquid suspended  
in wire frame

Gambar 9.5 menunjukkan peralatan yang sederhana untuk mengukur kerja ini. film cairan yang tipis/encer dipenjarakan suatu bingkai kawat dengan lebar  $b$  dan variable panjang  $l$ . total luas permukaan film adalah  $A = 2bl$  karna film mempunya dua sisi, depan dan belakang, masing – masing sisi luasnya  $bl$ . Jika panjang film bertambah dari  $l_1$  ke  $l_2$  dengan perpindahan slider sejauh  $x = l_2 - l_1$ , total luas permukaan film bertambah dari  $A_1 = 2bl_1$  menjadi  $A_2 = 2bl_2$ . Gaya  $F$  harus dikerjakan pada slider untuk dapat berpindah. Usaha  $w = Fx$  bekerja untuk menambah luas permukaan dengan cara mengukur  $F$  dan  $x$ .

Usaha ini sama dengan energy  $nw'$  yang dibutuhkan untuk memindahkan molekul dari dalam film ke permukaan. Nilai  $n$  berbanding lurus dengan bertambahnya luas,  $A_2 - A_1$ , jadi kita dapat menuliskannya :

Dimana  $a$  adalah konstanta kesebandingan (nomor molekul per unit luas pada permukaan), jadi dengan kata lain kerja yang dibutuhkan untuk memindahkan  $n$  molekul ke permukaan adalah

Disisi lain  $W = F x$  adalah kerja yang dibutuhkan slider untuk berpindah sejauh  $x$ , sehingga kita mendapatkan :

Kita hilangkan x di kedua sisi dan dibagi dengan b untuk mendapatkan

$$- = 2 \quad \dots\dots\dots 9.1$$

Ada beberapa catatan penting dari persamaan diatas :

1. Kuantitas  $\gamma$  adalah sifat intrinsic dari cairan, bergantung pada karakteristik dari cairan tersebut, bukan bentuk partikelnya. Kuantitas ini disebut tegangan permukaan, yang pada prinsipnya dapat diukur dengan cara mengukur F yang dibutuhkan untuk meregangkan film.
2. Reaksi dari gaya F adalah gaya  $R = - F$  yang bekerja pada slider. Persamaan 9.1 menunjukkan bahwa film bekerja gaya konstan per satuan panjang slider

$$- = - = 2 \quad \dots\dots\dots 9.2$$

3. Angka 2 yang ditunjukkan persamaan 9.1 dan 9.2 adalah karna permukaannya terdiri dari 2 sisi, jadi gaya per satuan panjang adalah

$$- = \quad \dots\dots\dots 9.3$$

Tegangan permukaan adalah gaya per satuan panjang yang bekerja pada kerangka kawat dengan panjang b. gaya fiktif (force lies) ini bekerja pada permukaan dan tegak lurus dengan sepanjang kawat. Gaya ini mirip (analogous) seperti tekanan, yaitu gaya yang bekerja tiap satuan luas pada setiap permukaan. Tekanan menggunakan suatu kekuatan yang tegak lurus ke permukaan, hanya tegangan permukaan yang menggunakan gaya yang tegak lurus permukaan. Bagaimanapun, tegangan yang bekerja pada fluida dihasilkan dari gaya luar, sebaliknya tegangan permukaan dihasilkan dari gaya yang berasal dari dalam. Jadi, tekanan secara langsung memperbesar volume, sebaliknya tegangan permukaan secara langsung menyusutkan permukaan. Tegangan permukaan mencoba untuk membuat luas permukaan cairan menjadi sekecil mungkin. Sebagai contoh, air yang jatuh dengan bebas akan mengambil bentuk bulatan, karna dengan bentuk bulatan ini luas permukaan air menjadi terkecil (luas terkecil adalah bulatan).

Tegangan permukaan pada cairan bergantung pada temperature, tetapi kalau tidak tegangan permukaan akan konstan (otherwise it is a constant). Dalam mks sistem, satuan tegangan permukaan adalah newtons per meter. Pada table 9.1 juga ditampilkan berbagai jenis tegangan permukaan pada bahan cair pada temperature tertentu. Pada tegangan permukaan air diberikan nilai tegangan permukaan yang berbeda – beda untuk menunjukkan perbedaan tegangan permukaan untuk temperature yang juga berbeda.

**Catatan** : Energy  $w'$  yang dibutuhkan untuk memindahkan molekul dari dalam ke permukaan cairan besar atau kecilnya sebanding dengan energy  $w$  yang dibutuhkan untuk memindahkan molekul dari cairan. Oleh karna itu tegangan permukaan  $\gamma = aw'$  seharusnya bertambah secara konstan dengan panas dari penguapan  $H_v = Nw$ . table 9.1 menunjukkan gejala ini. Ini semua adalah hanya sebuah kecenderungan, bagaimanapun, pengecualian kecil pasti terjadi.

Tegangan permukaan air lebih besar daripada tegangan permukaan cair pada umumnya (kecuali raksa), hal yang mengejutkan adalah tegangan permukaan air mampu mempertahankan benda – benda kecil diatas permukaannya. Contoh nyamuk dapat berdiri dipermukaan air, hal ini dikarnakan tegangan permukaan air.

Untuk memahami bagaimana aturan tegangan permukaan ini bekerja pada fenomena ini, kita mesti memahami terlebih dahulu bagaimana tegangan yang bekerja pada sepanjang kawat/ tali oleh object. Gambar 9.6 menunjukkan seorang pemain sirkus berjalan diatas tali dengan tegangan tali yang bekerja sebesar  $T$ . ini berarti setiap titik pada tali, bekerja 2 buah gaya yang berbeda arah satu sama lain seperti yang ditunjukkan pada gambar. Ketika tali membengkok dimana saat itu pemain sirkus sedang berdiri, gaya  $F_1$  dan  $F_2$  bekerja pada tali dengan besar yang sama tetapi arah yang berbeda satu sama lain. Komponen gaya yang horizontal, yang berlawanan arahnya, saling menghilangkan, sebaliknya component gaya yang arah vertical dengan arah yang sama saling menjumlahkan. Komponen gaya yang bekerja pada tali yang arahnya vertical adalah  $T \cos \theta$ , karna ada 2 gaya yang bekerja maka totalnya adalah  $2T \cos \theta$ .

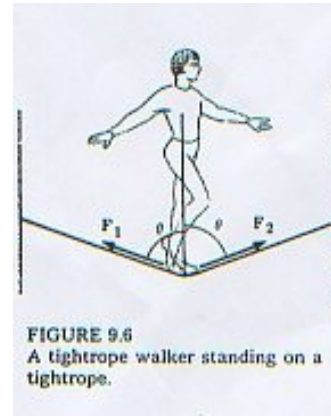


FIGURE 9.6  
A tightrope walker standing on a tightrope.

Pada permukaan cairan juga berlaku hal yang sama pada umumnya. Gambar 9.7 menunjukkan bagaimana permukaan cairan ditekan oleh kaki serangga. Tegangan permukaan yang bekerja pada air seluruh gayanya menjalar di sekeliling luas kaki serangga yang menekan permukaan air. Setiap gaya yang bekerja pada permukaan dan tegak lurus bibir lingkaran kaki serangga, mempunyai besar  $Y$  tiap satuan panjang. Gambar 9.7 menunjukkan dua buah gaya dengan arah yang berlawanan disekelilingnya. Sama seperti diatas, komponen gaya yang arah horizontal yang arahnya saling berlawanan, bekerja saling menghilangkan, tetapi komponen gaya yang arah vertical gaya per satuan panjang adalah  $Y \cos \theta$ ; oleh karna itu total gaya yang arah vertical adalah  $2\pi rY \cos \theta$ . Gaya ini adalah sama besarnya dengan berat yang ditanggung permukaan cairan karena berat kaki serangga.

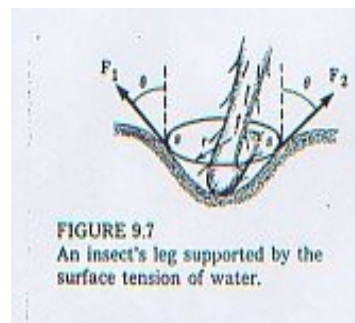


FIGURE 9.7  
An insect's leg supported by the surface tension of water.

### 9.3 KAPILARITAS

Saat setetes cairan diletakkan di atas permukaan padatan, cairan tersebut mungkin berbentuk sebaran atau butiran, bergantung pada besaran relative gaya adhesi dan kohesi. Gaya kohesi adalah gaya tarik antara molekul cairan; merupakan gaya yang mengikat cairan. Gaya adhesi adalah gaya yang tarik antara permukaan atau benda lainnya di luar molekul cairan terhadap molekul cairan. Setetes cairan yang diletakkan di atas gelas yang bersih akan tersebar merata di keseluruhan gelas tersebut karena gaya tarik antara air dengan gelas (yaitu gaya adhesi) lebih besar dari gaya tarik antara molekul air (gaya kohesi). Pada saat kesetimbangan, permukaan air tegak lurus terhadap gaya total yang bekerja padanya. Ini digambarkan pada gambar 9.10, yang menunjukkan gaya adhesi  $F_{ad}$  dan gaya kohesi  $F_c$  pada molekul di titik P. Permukaannya tegak lurus terhadap gaya total  $S = F_c + f_a$  pada molekul.. Karena gaya kohesi raksa lebih besar daripada gaya adhesi gelas, setetes raksa yang diletakkan di atas gelas berbentuk butiran. Ini digambarkan pada gambar 9.11.

Dengan cara yang sama, permukaan kolom cairan di dalam tube gelas ditentukan oleh jumlah  $S$  gaya adhesi dan kohesi. Gambar 9.12a menunjukkan gaya  $S$  pada molekul air di permukaan kolom. Karena gaya adhesi  $F_a$  lebih besar dibandingkan gaya kohesi  $F_c$ , gaya  $S$  menjauhi cairan. Permukaan cairan menjadi berbentuk melengkung, atau disebut meniscus, yang konkaf sehingga dapat tegak lurus terhadap  $S$ . Sudut kontak ( $\theta$ ) di antara permukaan air dan tube gelas ditentukan oleh besaran relative  $F_{ad}$  dan  $F_c$ . Gambar 9.12b menunjukkan bahwa meniscus raksa konveks karena gaya kohesi lebih besar dibandingkan gaya adhesi. Dalam kasus ini, sudut kontaknya lebih besar dari  $90^\circ$ .

Suatu kolom cairan dapat dibentuk dari tube gelas yang sempit (pipa kapiler) dengan gaya adhesi dan kohesi yang bekerja padanya. Fenomena ini disebut sebagai kapilaritas. Pipa kapiler harus terlebih dahulu dicelup ke dalam cairan sehingga terbentuk lapisan tipis cairan yang berada di sisi dalam dinding tube di atas kolom cairan. Lapisan ini menyebabkan tegangan permukaan di sekeliling kolom cairan. Gambar 9.13 menunjukkan gaya  $F_1$  dan  $F_2$  yang bekerja pada sisi panjang  $s$  yang berlawanan sisi terhadap pipa kapiler. Setiap gaya memiliki besaran  $\gamma s$  dan berada pada sudut kontak ( $\theta$ ) terhadap pipa kapiler. Komponen horisontal, yang berada di arah yang berlawanan, saling meniadakan, tetapi komponen vertikalnya, yang berada dalam arah yang sama, saling menjumlahkan. Besaran gaya vertikal per satuan panjang di sekeliling daerah adalah  $\gamma \cos \theta$ , sehingga gaya vertikal total adalah  $2 \pi r \gamma \cos \theta$ , di mana  $r$  adalah jari-jari kapiler. (analisis ini sama dengan analisis gaya yang dikeluarkan oleh kaki seekor serangga di bagian 9.2).

Pada kesetimbangan, gaya ke atas  $2 \pi r \gamma \cos \theta$  karena tegangan permukaan sama dengan gaya ke bawah  $mg$  karena gravitasi:

$$2 \pi r \gamma \cos \theta = mg$$



Massa  $m$  kolom sama dengan  $\rho V$ , dengan  $\rho$  adalah massa jenis cairan dan  $V$  adalah volume kolom. Volume suatu kolom dengan jari-jari  $r$  dan tinggi  $h$  adalah

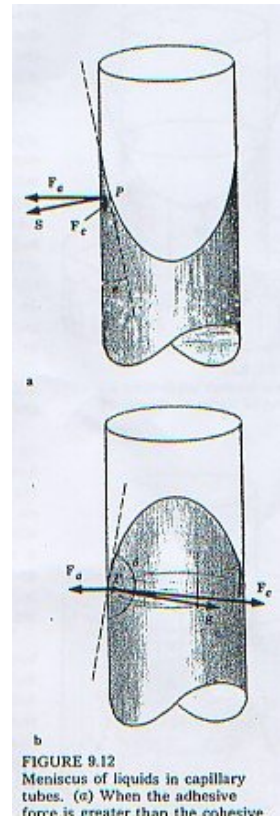
Sehingga

Dengan memasukkan persamaan ini untuk  $m$  ke dalam persamaan 9.6, diperoleh

Atau

Persamaan ini memberikan tinggi  $h$  dari suatu kolom cairan yang dihasilkan oleh kapilaritas. Sangat jelas bahwa  $h$  sebanding dengan tegangan permukaan cairan dan berbanding terbalik terhadap jari-jari kapiler.

**CATATAN** : Tegangan permukaan disebabkan oleh gaya kohesi cairan (bagian 9.2). Dari persamaan 9.7, kelihatannya gaya adhesi tidak berpengaruh terhadap kapilaritas. Akan tetapi, ini tidaklah benar. Bentuk konkaf meniskus yang menyebabkan tegangan permukaan yang berefek terhadap gaya ke atas kolom, dan bentuk meniskus bergantung pada, seperti yang telah kita lihat, jumlah gaya kohesi dan adhesi.



Jika gaya adhesi lebih besar dari gaya kohesi, sudut kontak  $\theta$  sangat kecil. Dalam hal ini,  $\cos \theta$  mendekati satu, dan persamaan 9.7 dapat dituliskan menjadi

Persamaan ini valid untuk air dalam gelas kapilar, dengan  $\theta$  20° atau lebih kecil, tetapi persamaan 9.7 harus digunakan untuk dalam plastik kapiler, dengan  $\theta$  sekitar 45° atau lebih.

Sebagai contoh, misalkan satu ujung gelas kapiler dengan jari-jari  $r=0.05$  cm dicelupkan ke dalam air. Jika kapilernya kering, air tidak akan naik ke dalam kapiler melebihi air di sekelilingnya. Akan tetapi, jika bagian dalam kapiler basah, air akan naik ke ketinggian  $h$  berdasarkan persamaan 9.8:

$$h = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho g r} = \frac{2(0.0728 \text{ N/m}) \cos(10^\circ)}{(1000 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ m/s}^2)(0.001 \text{ m})} = 2.98 \text{ cm} = 2.98 \text{ mm}$$

Saat gaya kohesi lebih besar daripada gaya adhesi, seperti pada kasus raksa dalam tube gelas, meniskus yang terbentuk konveks (gambar 9.12b). Tegangan permukaan menghasilkan gaya ke arah bawah cairan sehingga cairan dalam tube tertekan sejauh  $h$  di bawah permukaan air sekeliling (gambar 9.14). Ketika sudut kontak mendekati  $180^\circ$ ,  $\cos \theta$  mendekati  $-1$  dan persamaan 9.7 menjadi

$$h = -\frac{2\gamma}{\rho g r}$$

Sebagai contoh, jika tube gelas di contoh terakhir dicelupkan ke dalam raksa, raksa di dalam tube akan tertekan sejauh

$$h = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho g r} = -1.30 \text{ cm}$$

Di bawah permukaan cairan di sekelilingnya.