

## **BAB- 10**

### **ZAT PADAT**

#### **Pendahuluan**

Zat padat adalah sebuah objek yang cenderung mempertahankan bentuknya ketika gaya luar mempengaruhinya. Karena kepadatannya itu, bahan padat digunakan dalam bangunan yang semua strukturnya kompleks yang berbentuk. Seorang ahli mempelajari alat-alat mekanik dari bahan material, seperti baja dan beton, digunakan untuk struktur yang akan dia bangun, demikian pula, ini juga menarik minat ahli biologi untuk mengetahui sesuatu tentang alat-alat material, seperti kayu dan tulang yang berasal dari komponen tanaman dan binatang. Dalam bagian ini mendiskusikan pokok-pokok bagian dari zat padat dan beberapa kelompok-kelompok dari materi biologi

#### **Kristal padat**

Kristal adalah suatu padatan yang atom, molekul, atau ion penyusunnya terkemas secara teratur dan polanya berulang melebar secara tiga dimensi. Secara umum, zat cair membentuk kristal ketika mengalami proses pemadatan. Pada kondisi ideal, hasilnya bisa berupa kristal tunggal, yang semua atom-atom dalam padatannya "terpasang" pada kisi atau struktur kristal yang sama, tapi, secara umum, kebanyakan kristal terbentuk secara simultan sehingga menghasilkan padatan polikristalin. Misalnya, kebanyakan logam yang kita temui sehari-hari merupakan polikristal.

Struktur kristal mana yang akan terbentuk dari suatu cairan tergantung pada kimia cairannya sendiri, kondisi ketika terjadi pemadatan, dan tekanan ambien. Proses terbentuknya struktur kristalin dikenal sebagai kristalisasi. Struktur kristal terjadi pada semua kelas material, dengan semua jenis ikatan kimia. Hampir semua ikatan logam ada pada keadaan polikristalin; logam amorf atau kristal tunggal harus diproduksi secara sintesis, dengan kesulitan besar. Kristal ikatan ion dapat terbentuk

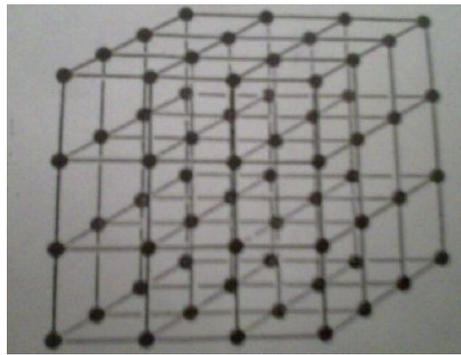
saat pemadatan garam, baik dari lelehan cairan maupun kondensasi larutan. Kristal ikatan kovalen juga sangat umum. Contohnya adalah intan, silika dan grafit. Material polimer umumnya akan membentuk bagian-bagian kristalin, namun panjang molekul-molekulnya biasanya mencegah pengkristalan menyeluruh. Gaya Van der Waals lemah juga dapat berperan dalam struktur kristal. Contohnya, jenis ikatan inilah yang menyatukan lapisan-lapisan berpola heksagonal pada grafit.

Kebanyakan material kristalin memiliki berbagai jenis cacat kristalografis. Jenis dan struktur cacat-cacat tersebut dapat berefek besar pada sifat-sifat material tersebut. Meskipun istilah "kristal" memiliki makna yang sudah ditentukan dalam ilmu material dan fisika zat padat, dalam kehidupan sehari-hari "kristal" merujuk pada benda padat yang menunjukkan bentuk geometri tertentu, dan kerap kali sedap di mata. Berbagai bentuk kristal tersebut dapat ditemukan di alam. Bentuk-bentuk kristal ini bergantung pada jenis ikatan molekuler antara atom-atom untuk menentukan strukturnya, dan juga keadaan terciptanya kristal tersebut. Bunga salju, intan, dan garam dapur adalah contoh-contoh kristal.

Beberapa material kristalin mungkin menunjukkan sifat-sifat elektrik khas, seperti efek feroelektrik atau efek piezoelektrik. Kelakuan cahaya dalam kristal dijelaskan dalam optika kristal. Dalam struktur dielektrik periodik serangkaian sifat-sifat optis unik dapat ditemukan seperti yang dijelaskan dalam kristal fotonik

Molekul dari zat padat, seperti liquid, yang menutup bersama itu mendesak kuat gaya-gaya pada masing-masing zat. Walaupun, liquid dalam maloekul-molekul yang bebas untuk bergerak dan mengingat dalam zat padat mempunyai posisi yang tetap. Posisi yang tetap dari molekul ini menjadikan bentuk yang tetap.

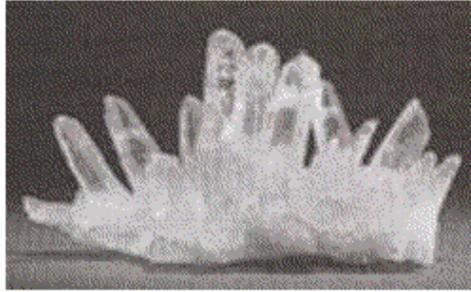
Dalam sebuah kristal zat padat, selanjutnya molekul-molekul disusun oleh pola-pola tiga dimensi yang teratur yang memperpanjang jutaan molekul dalam segala arah. Gambar 10.1 menunjukkan pola yang mungkin, yaitu sebuah pola kubik sederhana. Jika pola ini, molekul di semua titik dalam pola ini, molekul pada beberapa titik mempunyai pola yang sama mengelilingi molekul-molekul yang lain kecuali tentunya untuk molekul yang berada di dekat permukaan. Semua molekul-



Gambar 10.1

molekul dalam bagian dalam kristal zat padat adalah subjek untuk kondisi yang sama, dan mereka mempunyai perilaku yang sama pula. Molekul ini berkelakuan serupa dengan molekul-molekul dalam kristal padat yang memberikan zat padat mempunyai sifat spesial. Lebih dari itu elemen kimia (memasukkan semua logam) dan semua organik sederhana dan anorganik tersusun dari bentuk kristal zat padat.

Kristal merupakan unsur zat padat yang mana urutannya diatur dari molekul-molekul yang tetap melakukan seluruhnya dan mengontrol bentuk luar dari zat padat. Permukaan dari kristal adalah bidang permukaan-permukaan yang memenuhi sudut-sudut tertentu. Sudut ini merupakan karakteristik dari urutan molekul dalam zat padat.



Gambar 10.2

Gambar 10.2 menunjukkan beberapa kristal-kristal quartz, yang mana bentuk alami kristal dari silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ). Gambar 10.3 merupakan foto mikrograf dari kepingan salju, yang mana salah satu kristal kompleks dari  $\text{H}_2\text{O}$ . Keteraturan dan simetri dari sebuah kristal tampak perwujudan dari keteraturan dan simetri dari susunan molekul dalam zat padat.

Secara umum, zat padat dibentuk di bawah keadaan yang tidak menyokong susunan dari satuan kristal. Sebagai pengganti, bentuk-bentuk zat padat, ribuan dari kristal *minute* timbul bersamaan, terbentuknya sebuah kristal zat padat. Dalam tiap mikrokristal disusun secara acak dengan pengaruh satu sama lain. Logam secara umum mempunyai macam struktur itu. Karena tiap mikrokristal mengandung  $10^{16}$  atau lebih molekul, sebagian besar dari molekul di bagian dalam dari urutan molekul yang besar. Hanya terbatas pada beberapa molekul di batas antara 2 mikrokristal yang tidak ada urutannya (gambar 10.4). istilah kristal padat digunakan untuk salah satu arti sebuah kristal atau banyak kristal padat. Di bagian ini didiskusikan alat-alat umum untuk semua kristal padat.

Dalam padat nonkristal adalah molekul-molekul disusun secara acak, jadi gaya-gaya pada satu molekul yang berbeda dari gaya-gaya yang lain. Kaca adalah contoh paling umum dari padat nonkristal. Secara kimia kaca susunan utamanya  $\text{SiO}_2$ , sama dengan quartz. Secara fisika berbeda dari quartz itu sendiri, karena molekul-molekul ini disusun secara berbeda.

Banyak sifat yang khas alat-alat dari kristal padat yang muncul dari temperatur yang pasti  $T_m$ , disebut *titik cair*. Ketika zat padat dihangatkan, temperaturnya  $T$  bertambah hingga ke daerah  $T_m$ . Kemudian, lebih lanjut perubahan panas zat padat ke dalam liquid. Panas peleburan panas  $H$ , adalah energi yang dibutuhkan untuk mencairkan satu mol dari zat padat. Di titik cair semua panas ditambah untuk zat padat menjadi penyedia energi yang diperlukan untuk mencairkan zat padat. Jadi suhunya, tidak bertambah selama proses pencairan. Walaupun, setelah semua zat padat mencair, suhu dari cairan ditambah oleh pemanasan selanjutnya. Tabel 10.1 memberikan titik pencairan dan panas molar dari peleburan dari keadaan zat pada umumnya.

Di titik cair zat bisa berdampingan dalam keadaan padat dan cairan. Untuk contohnya, campuran dari es dan air di  $0^\circ\text{C}$  adalah tetap jika panas tidak ditambah atau dilepaskan, walaupun jika panas ditambahkan, es akan mencair, dan jika panas dilepaskan air akan membeku. Di temperatur di atas  $T_m$ , zat tidak dapat ada pada zat padat, dan di temperatur di bawah  $T_m$  zat tidak dapat normal ada pada liquid.

Padat nonkristal, seperti kaca, titik cairnya tidak terbatas. Sejak itu molekul-molekul dari zat padat disusun secara acak, beberapa molekul-molekul dapat meninggalkan tempat dari posisinya yang lebih mudah daripada yang lainnya. Temperatur dari kaca ditambahkan, kaca menjadi lembut, sampai pada akhirnya mengalir bebas tetapi peralihan kacanya tidak tepat dari zat padat ke keadaan cair. Berbicara bentuk kesatu dari kaca dingin, kekentalan bertambah stabil, sampai tidak dapat diamati aliran yang terjadi. Mentega dan margarin juga merupakan contoh dari kristal tidak padat yang tidak terbatas titik cairnya.

Titik cair dari kristal tidak padat sedikit tergantung pada tekanan. Contohnya, titik cairnya dari  $\text{H}_2\text{O}$ , di mana suhunya  $0^\circ\text{C}$  pada tekanan 1 atmosfer, pengurangannya sampai  $-1,5^\circ\text{C}$  pada tekanan 200 atmosfer. Titik cair  $T_m$  yang

berlaku adalah titik cair pada tekanan 1 atmosfer. Grafik dari titik cair berlawanan dengan tekanan yang memberikan kurva cair yang ditunjukkan pada gambar 10.5. Kurva ini hampir vertikal karena  $p$  berubah oleh banyak atmosfer sampai titik cair berubah oleh bagian kecil dari derajat. (Kurva cair ini dalam gambar 10.5 miring ke kanan karena titik cair dari banyak zat, tidak sama dengan air, bertambah dengan penambahan tekanan). Zat ini adalah padat untuk harga dari  $p$  dan  $T$  untuk bagian kiri dari kurva cair dan ciran dari harga  $p$  dan  $T$  untuk bagian kanan dari kurva tersebut. Titik-titik pada kurva cair memberikan harga dari  $p$  dan  $T$  untuk zat cair dan zat padat dapat berdampingan.

Kurva penguapan serupa dengan grafik dari tekanan uap dari tekanan zat cair yang berlawanan ( bagian 8.5). Seperti ditunjukkan dalam gambar 10.5, zat tersebut adalah zat cair dari harga  $p$  dan  $T$  di atas kurva dan gas untuk harga dari  $p$  dan  $T$  di bawah kurva. Titik pada kurva penguapan memberikan tekanan  $p$  dari uap yang seimbang dengan zat cir pada tekanan  $T$ . Kurva penguapan ini membatasi kekritisitas pada tekanan  $T_c$ , yang mana tekanan paling tinggi pada zat dapat ada pada zat cair (bagian 8.5). Titik didih  $T_b$  dari zat adalah suhu di mana tekanan uap adalah 1 atmosfer. Tabel 10.1 memberikan titik didih dari beberapa keadaan biasa zat-zat.

Kurva penguapan ini memotong kurva pencairan pada titik yang disebut sebagai titik tripel. Suhu  $T_t$  dan tekanan  $p_t$  pada titik ini adalah sifat yang khas dari zat. Contohnya, pada titik tripel dari  $H_2O$  adalah  $0,01^\circ C$  dan 0,006 atm (4,58 mmHg). Pada suhu dan tekanan uap ini, zat padat, zat cair, dan gas merupakan keadaan dari semua zat yang berdampingan. Untuk banyak zat suhu  $T$  dan  $T_t$  berbeda hanya oleh sebagian kecil dari tingkatan yang keseratus, yang tidak penting untuk banyak tujuan.

Kurva ketiga, disebut dengan kurva sublimasi, memotong juga kurva penguapan dan kurva pencairan pada titik tripel (gambar 10.5). Kurva ini

memberikan tekanan uap dari gas dalam keadaan setimbang dengan zat padat pada suhu yang bermacam-macam. Zat pada padat dari harga  $p$  dan  $T$  di atas kurva, dan gas untuk harga  $p$  dan  $T$  di bawah kurva. Contohnya, tekanan uap dari es pada  $-10^{\circ}\text{C}$  1,95 mmHg. Mengenai dingin, kering, musim dingin, ketika suhu  $-10^{\circ}\text{C}$  ( $14^{\circ}\text{F}$ ) dan sebagian tekanan dari  $\text{H}_2\text{O}$  dalam air lebih kecil dari 1,95 mmHg, harga-harga dari  $p$  dan  $T$  cocok untuk titik di bawah kurva sublimasi. Kondisi-kondisi di bawah satu-satunya keadaan tetap dari  $\text{H}_2\text{O}$  merupakan keadaan gas. Ini berarti bahwa beberapa salju atau es di atas tanah tidak dalam keadaan setimbang dengan uap tetapi lambat mengubah bentuk langsung menjadi ke dalam uap, proses tersebut disebut *sublimasi*. Bukan zat cair  $\text{H}_2\text{O}$  yang dibentuk karena tidak ada di bawah titik tripel.

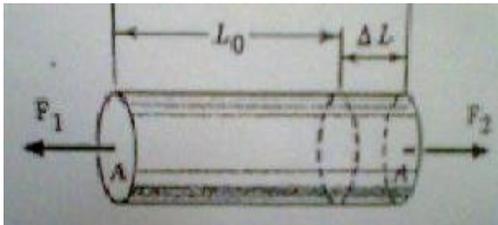
Energi dibutuhkan untuk mengubah zat secara langsung dari padat menjadi keadaan gas yang disebut *panas dari sublimasi*  $H_s$ . Panas dari sublimasi dari  $\text{H}_2\text{O}$  adalah 12,1 kcal/mol, jadi  $12,1 \text{ kcal}/18 = 0,672 \text{ kcal}$  dari energi yang harus diserap untuk mengubah 1 g dari es ke dalam uap. Tidak semua salju sublimasi mendekati karena akibat waktu untuk menyerap energi dari matahari dan sekeliling udara. Akhirnya, walaupun semua salju akan halus jika suhu berada di bawah  $0^{\circ}\text{C}$  dan saljunya tidak hangat.

### **Alat-alat mekanik dari zat padat**

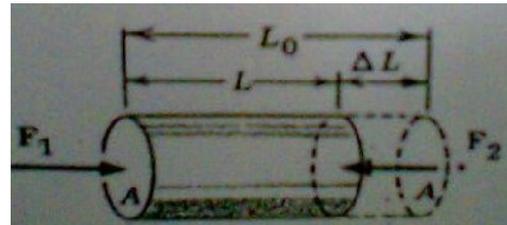
Zat padat tidak mutlak kokoh, ukuran dan bentuk sedikit diubah ketika diperlakukan untuk gaya-gaya yang besar. Perubahan ini tidak terlalu perlu diperhatikan di bawah keadaan biasa, tetapi dapat diukur sebagai alat yang dirancang untuk percobaan material. Maksud dari percobaan tersebut untuk memperoleh kuantitatif pengukuran dan alat-alat ukur dari material yang berbeda.

### **Modulus Young**

Dalam percobaan sederhana dari contoh yang berbentuk silinder dari material dihubungkan agar pelatnya dapat digerakan. Pelat ditarik terpisah (atau didesak



Gambar 10.6a



Gambar 10.6b

secara bersamaan), contoh pelat itu untuk tegangan (atau tekanan).

Gambar 10.6a menunjukkan contoh dalam tegangan, dan gambar 10.6b menunjukkan tekanan. Dalam tiap-tiap keadaan pada gay-gaya  $F_1$  dan  $F_2$  mempunyai besar yang sama karena objek tersebut dalam kesetimbangan. Tegangan  $T$  adalah besar dari gaya-gaya itu (bagian 2.2). Sejak tekanan berlawanan arah dengan tegangan dapat dibedakan oleh tanda dari  $T$ . Derajat ketegangan  $T$  positif ketika percobaan dalam derajat ketegangan (gambar 10.6a) dan negatif ketika percobaan dalam tekanan (gambar 10.6b).

Hasil dari tegangan, panjang dari contoh itu diubah. Misal  $L_0$  panjang ketika tegangannya sama dengan nol, dan  $L$  panjang ketika tegangannya tidak sama dengan nol. Perubahan dalam panjang  $L - L_0$  ditunjukkan oleh simbol  $\Delta L$ .

$$\Delta L = L - L_0$$

material diuji coba oleh percobaan yang berubah dari panjang yang dihasilkan oleh derajat ketegangan  $T$ . Perubahan dari panjang  $\Delta L$  adalah positif ketika  $T$  positif dan negatif ketika  $T$  negatif (gambar 10.6).

Perubahan dari panjang tergantung pada ukuran dan susunan dari bahan percobaan. Untuk bahan percobaan berbentuk silinder,  $\Delta L$  bagian untuk panjang  $L_0$

dan kebalikan sebanding untuk daerah A yang bersilangan. Panjang dari contoh percobaan diregangkan lebih dari sekali tarikan pendek, dan bahan percobaan tipis dari contoh percobaan diregangkan lebih dari sekali. Itu merupakan pengaruh dari ukuran dalam  $\Delta L$  dapat dituliskan.

$$\Delta L = \frac{1}{E} \frac{L_0}{A} T \quad 10.1$$

di mana E adalah konstanta yang disebut dengan *modulus Young*, yang tergantung pada susunan dari percobaan, tidak pada ukuran. Persamaan ini pun menganggap  $\Delta L$  sebanding dengan T. Ini benar, akan ditemui, disajikan T tidak terlalu besar. Tabel 10.2 memberikan *modulus Young* dari berbagai zat padat.

Hal ini sesuai untuk menuliskan kembali persamaan 10.1. hubungan dari regangan  $\epsilon$  dan tegangan  $\sigma$ . Tegangan merupakan rasio dari perubahan panjang ke panjang yang aslinya,

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

regangan merupakan rasio dari derajat keregangannya untuk daerah yang bersilangan,

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

syarat-syarat dari kuantitas, persamaan 10.1 dapat ditulis

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E}$$

atau

$$\sigma = E \epsilon \quad 10.2$$

alat-alat ukur dari zat padat selalu dideskripsikan dalam syarat-syarat dari tegangan dan regangan, lebih baik dari derajat keregangannya dan perubahan panjang, karena hubungan antara tegangan dan regangan bebas dari ukuran dari objek tersebut.

Tegangan merupakan dimensi kuantitas (jumlah), dan tegangan memiliki dimensi dari gaya per satuan daerah. Tegangan pada contoh dalam gambar 10.6a sama untuk besarnya gaya  $F_1$ , dibagi oleh daerah A. Serupa untuk definisi dari tekanan (bagian 7.2) kecuali pada tegangan positif ketika gaya diarahkan keluar. Tegangan tegangan dipastikan tekanan negatif :  $\sigma = -p$ . Meskipun syarat tekanan biasanya digunakan untuk zat yang mengalir, di mana gaya per satu daerah sama dengan semua daerah (hukum Pascal). Syarat tegangan digunakan untuk zat padat, di mana gaya per satu daerah dapat berbeda dalam daerah berbeda. Contohnya, gaya per satu daerah dalam zat padat dalam gambar 10.6a adalah  $F_1/A$  pada akhir dari silinder tetapi nol pada bagian-bagian dari silinder.

Sebagai contoh, berdasarkan kawat panjang dari panjang  $L_0 = 0,5$  m dan diameter  $d = 2 \times 10^{-3}$  m. Berapa besar regangan ketika tegangan 450 N berlaku? Daerah A bersekat-sekat – silang dari kawat adalah

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = 3,14 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Jadi tegangannya adalah

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{450 \text{ N}}{3,14 \times 10^{-6} \text{ m}^2} = 143 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

dari tabel 10.2 *modulus Young* dari baja didapat  $200 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ , jadi tegangannya

$$\begin{aligned} \text{adalah} \quad \varepsilon &= \frac{\sigma}{E} = \frac{1,43 \times 10^8 \text{ N/m}^2}{2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2} \\ &= 0,175 \times 10^{-3} = \frac{\Delta L}{L_0} \end{aligned}$$

oleh karena itu perubahan dalam panjang adalah

$$\begin{aligned}
\Delta L &= \varepsilon L_e = 0,175 \times 10^{-3} \times 0,5 \text{ m} \\
&= 0,357 \times 10^{-3} \text{ m} \\
&= 0,357 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Tegangan ditambahkan panjangnya dari kawat oleh 0,357 mm. Ketika tegangan dihilangkan, kawat kembali untuk tidak diregangkan panjangnya. Gambar 10.7 merupakan grafik dari tegangan berlawanan untuk tipe kristal padat. Persamaan 10.2 hanya berlaku untuk bagian panjang garis dari kurva, di mana tegangan sebanding dengan regangan. Batas  $\sigma_p$  dan  $\sigma_p^f$  dari daerah yang dibedakan untuk dapat diregangkan dan tekanan kompresi. Batas elastis  $\sigma_e$  dan  $\sigma_e^f$  yang dapat diregangkan sampai maksimum dan tekanan kompresi dapat digunakan untuk zat padat seperti hasil untuk ukuran aslinya ketika tegangan dihilangkan. Jika tegangan yang dapat diregangkan melampaui  $\sigma_e$  atau tegangan kompresi melampaui  $\sigma_e^f$ , zat padat ini selamanya diubah bentuknya. Hal ini berarti bahwa zat padat tidak akan kembali untuk keadaan yang tidak diberi tekanan ketika tegangan dihilangkan. Zat padat patah ketika tegangan melampaui daya regang  $\sigma_u$  atau daya kompresi  $\sigma_u^f$ . Tabel 10.2 memberikan harga dari  $\sigma_e$ ,  $\sigma_u$ , dan  $\sigma_u^f$  untuk macam-macam zat padat.

Jika tegangan pada anggota dari struktur mekanik mendukung dalam melampaui batas elastisnya, anggota secara permanen dirusak bentuknya dan alat-alat fisika diubah. Secara umum cacat bentuk zat padat lebih lemah dari materi aslinya. Contohnya, pelat besi dapat ditentukan kembali dan selanjutnya terbatas atau tidak dilenturkan melebihi batas elastis. Tetapi cenderung sekali melebihi batasnya, pelat ini mudah patah oleh lebih sedikit belitannya. Anggota dari beberapa struktur, apakah yang hidup atau yang tidak, jadi maksud dari besar tegangan sesungguhnya dipakai untuk tidak dilampaui batas elastisnya.

Contohnya, andaikan sebuah keran diperlukan untuk daya angkat sebesar 20.000 lb atau kurang. Berapa diameter minimum dari kawat baja agar dapat digunakan? Tegangan maksimum dalam kawat adalah

$$T = 20.000 \text{ lb} = 8,9 \times 10^4 \text{ N}$$

Dari tabel 10.2 batas elastis dari baja adalah  $30 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ . Jika tegangan ini tidak melebihi, daerah bersekat-sekat – silang dari kawat harus lebih besar dari

$$A = \frac{T}{\sigma_E} = \frac{8,9 \times 10^4 \text{ N}}{30 \times 10^7 \text{ N/m}^2} = 3 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

dan diameternya harus lebih dari

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = 1,95 \times 10^{-2} \text{ m} = 1,95 \text{ cm}$$

tentu saja, diameter akan dibuat lebih besar untuk persediaan garis tepi dari keamanan.

Batas maksimum regangan agar dapat dihasilkan dalam objek yang didirikan oleh pergantian harga dari E dan  $\sigma_E$  dari tabel 10.2 kedalam persamaan 10.2. Baja, untuk contohnya, dapat mempunyai regangan maksimum dari

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{\sigma_E}{E} = \frac{30 \times 10^7 \text{ N/m}^2}{2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2} \\ &= 1,5 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

Hal ini berarti batang baja diregangkan oleh lebih dari 0,15 persen, ini diregangkan melebihi batas elastis. Kecuali untuk elastomers (bagian 10.3), banyak zat padat tidak dapat elastis dihilangkan oleh lebih dari beberapa persen.

## Modulus Shear

Gambar 10.8 menunjukkan untuk gaya dari luar yang sama diberikan paralel untuk empat permukaan dari zat padat kubik. Gaya-gaya itu disusun jadi total gaya dan torsi pada zat padat adalah nol. Akibatnya zat padat dalam kesetimbangan dan tetap istirahat. Bagaimanapun, bentuk ini dirusak sedikit ke dalam bentuk terlihat oleh titik garisnya. Besar ini cenderung merusak bentuk dari *modulus shear*  $\gamma$ , yang merupakan definisi dari tangen dari sudut  $\theta$ . Dari gambar 10.8 terlihat untuk menceritakan ukuran dari kubus

$$\gamma = \tan \theta = \frac{\Delta L}{L_0}$$

gaya-gaya yang dipakai adalah *tegangan Shear*  $\tau$  untuk zat padat yang definisinya adalah besar dari gaya paralel di berbagai permukaan dibagi oleh daerah dari permukaan

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{A}$$

jika tegangan Shear tidak besar, ini dihubungkan dengan regangan Shear

$$\tau = G \gamma \quad 10.3$$

di mana  $G$  adalah konstanta, disebut *modulus Shear*, sifat dari zat padat. Tabel 10.3 memberikan nilai dari  $G$  untuk macam-macam zat padat. Secara umum  $G$  berkisar antara  $\frac{1}{2}E$  dan  $\frac{1}{3}E$ .

Mengingat kembali zat cair dalam keadaan istirahat, gaya-gaya selalu tegak lurus dengan permukaan (bagian 7.2). ini berarti zat cair dalam keadaan zat cair tidak dapat menopang tegangan Shear; modulus Shear dari zat cair adalah nol. Ketika tegangan Shear dipakai untuk fluida, fluida mengalir.

## Modulus Bulk

Volume dari gas berkurang tekanannya ditambahkan. Untuk luas lebih kecil, volume dari berbagai zat-gas, zat cair, atau zat padat berkurang ketika tekanan bertambah. Untuk persoalan zat padat untuk tekanan seragam, zat padat harus dicelupkan dalam fluida, seperti pada gambar 10.9. tekanan pengisap dipakai untuk fluida, yang mana persoalan untuk tekanan seragam. (hal ini boleh disusun kontras untuk disusun dalam gambar 10.6b, di mana tegangan dipakai hanya pada akhir dari percobaan). Ketika tekanan ditambah dari  $p_0$  untuk  $p_0 + \Delta p$ , volume dikurang dari  $v_0$  untuk  $v_0 - \Delta v$ .

Perbandingan dari  $\Delta p$  untuk perubahan relatif dari  $\Delta v/v_0$  disebut *modulus Bulk B*:

$$B = \frac{\Delta p}{\Delta v/v_0} \quad 10.4$$

Timbal balik dari modulus Bulk adalah sifat dapat *dimampatkan K*

$$K = \frac{1}{B} = \frac{\Delta v/v_0}{\Delta p}$$

Untuk zat cair dan zat padat modulus Bulk adalah konstanta, berdiri dendiri dari tekanan, tekanan disajikan tidak terlalu besar. Oleh karena itu perubahan dalam volume berhubungan dengan perubahan dalam tekanan oleh

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta P}{E} = K\Delta p \quad 10.5$$

Tabel 10.4 memberikan nilai dari  $B$  untuk berbagai zat cair dan zat padat. Secara umum, modulus Bulk dari zat padat berkisar antara  $\frac{1}{3}E$  dan  $E$ . Ini terlihat dalam bagian 13.2 yang modulus Bulk dari gas ideal yang sama untuk tekanan dari gas.

Setiap ukuran modulus dari zat padat menghambat untuk tekanan tertentu. Tes yang lain yang ukurannya dari zat padat untuk menyobek, menggores, menubruk, dan tipe-tipe yang lain dari tegangan. Informasi dari tes tersebut dapat didirikan dalam bab daftar pustaka buku.

## Aplikasi Dalam Ilmu Biologi

### **Biosensor**

Biosensor sendiri didefinisikan sebagai suatu perangkat sensor yang menggabungkan senyawa biologi dengan suatu transduser. Dalam proses kerjanya senyawa aktif biologi akan berinteraksi dengan molekul yang akan dideteksi yang disebut molekul sasaran. Hasil interaksi yang berupa besaran fisik seperti panas, arus listrik, potensial listrik atau lainnya akan dimonitor oleh transduser. Besaran tersebut kemudian diproses sebagai sinyal sehingga diperoleh hasil yang dapat dimengerti.

Biosensor yang pertama kali dibuat adalah sensor yang menggunakan transduser elektrokimia yaitu elektroda enzim untuk menentukan kadar glukosa dengan metode amperometri. Sejauh ini, biosensor dalam perkembangannya mempunyai tiga generasi yaitu generasi pertama; dimana biosensor berbasis oksigen, generasi kedua; biosensor menjadi lebih spesifik yang melibatkan “mediator” diantara

reaksi dan transduser, dan terakhir generasi ketiga; dimana biosensor berbasis *enzyme coupling*.

Untuk produk-produk komersial dari teknologi biosensor, sekarang ini telah banyak diperjualbelikan. Biosensor eksternal/internal dalam bentuk chip bahkan telah diproduksi oleh perusahaan Amerika i-Stat, MicroChips, Digital Angel, VeriChip yang dapat ditanam dalam tubuh manusia. Beberapa Perusahaan Jepang pun turut berpartisipasi, seperti Matsushita Electric Industrial Co. dengan teknologi biosensornya yang mampu menetapkan secara cepat dan mudah pengukuran kolesterol darah. Tokyo Medical and Dental University dengan biosensor nafasnya yang memanfaatkan enzim monoamine oksidase A (MAO A) dan lain sebagainya. Tetapi secara umum untuk pengguna biosensor, hampir 60% pengunanya berasal dari *health-care* industri.

### Prinsip Kerja Biosensor

Pada dasarnya biosensor terdiri dari tiga unsur yaitu unsur biologi (reseptor biologi), transduser, dan sistem elektronik pemroses sinyal. Unsur biologi yang umumnya digunakan dalam mendesain suatu biosensor dapat berupa enzim, organel, jaringan, antibodi, bakteri, jasad renik, dan DNA. Unsur biologi ini biasanya berada dalam bentuk terimmobilisasi pada suatu transduser. Immobilisasi sendiri dapat dilakukan dengan berbagai cara baik dengan (1) adsorpsi fisik, (2) dengan menggunakan membran atau perangkap matriks atau (3) dengan membuat ikatan kovalen antara biomolekul dengan transduser.

Untuk transduser, yang banyak digunakan dalam suatu biosensor adalah



transduser elektrokimia, optoelektronik, kristal piezoelektronik, *field effect* transistor dan temistor. Proses yang terjadi dalam transduser dapat berupa *calorimetric* biosensor, *potentiometric* biosensor, *amperometric* biosensor, *optical* biosensor maupun *piezo-electric* biosensor. Sinyal yang keluar dari transduser ini kemudian di proses dalam suatu sistem elektronik misalnya *recorder* atau komputer. Berikut adalah contoh skema umum dari biosensor :

### Aplikasi Biosensor

Aplikasi biosensor pada dasarnya meningkat seiring dengan berkembangnya keperluan manusia dan kemajuan iptek. Tetapi secara umum tetap didominasi untuk aplikasi dibidang medis dan lingkungan hidup. Beberapa bidang aplikasi lainnya dapat dilihat pada tabel berikut :

No	Bidang Aplikasi	Kegunaan Biosensor
1.	Medis dan Farmasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mengontrol penyakit : diabetes, kolesterol, jantung dll</li> <li>• Diagnosis untuk : obat, metabolit, enzim, vitamin</li> <li>• Penyakit infeksi, alergi.</li> <li>• Studi efisiensi obat</li> </ul>
2.	Lingkungan Hidup	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kontrol polusi</li> <li>• Monitoring senyawa-senyawa toksik di udara, air, dan tanah.</li> <li>• Penentuan BOD (biological oxygen demand)</li> </ul>

3.	Kimia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mengontrol kualitas makanan (mendeteksi kontaminasi mikroba, menentukan kesegaran, analisis lemak, protein dan karbohidrat dalam makanan.</li> <li>• Mendeteksi kebocoran, menentukan lokasi deposit minyak.</li> <li>• Mengecek kualitas udara di ruangan.</li> <li>• Penentuan parameter kualitas pada susu</li> </ul>
4.	Pertanian	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mengontrol kualitas tanah.</li> <li>• Penentuan degradasi seperti biodegradable pada kayu dan makanan.</li> <li>• Mendeteksi keberadaan pestisida</li> </ul>
5.	Militer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mendeteksi zat-zat kimia dan biologi yang digunakan sebagai senjata perang (senjata kimia/biologi) seperti virus, bakteri patogen, dan gas urat syaraf.</li> </ul>