

NAN

TEKNOLOGI



**Kampus
Merdeka**
INDONESIA JAYA

NANOTEKNOLOGI

ELFRIDA GINTING, PH.D

elfridaginting@unimed.ac.id

**PROGRAM STUDI S1 KIMIA
UNIVERSITAS NEGERI MEDAN**



CAPAIAN PEMBELAJARAN LULUSAN (CPL)

CPL1 (S2) Memiliki moral, etika, dan kepribadian yang baik di dalam menyelesaikan tugasnya.

CPL 2 (P2) Menguasai prinsip dan metode keteknik kimia, prinsip ekonomi, dan proses ekologi untuk dapat berperan sebagai tenaga ahli (sub professional) yang menangani masalah Teknik Kimia dan Kimia.

CAPAIAN PEMBELAJARAN LULUSAN (CPL)



CPL 3 (KU2) Mampu memahami kebutuhan pembelajaran sepanjang hayat melalui proses evaluasi diri, mengelola pembelajaran diri sendiri, dan secara efektif mengkomunikasikan informasi dan ide dalam berbagai bentuk media kepada masyarakat bidang Teknik kimia atau Kimia atau masyarakat umum.

CPL 4 (KK1) Mampu mengidentifikasi dan merumuskan masalah teknik, melakukan studi untuk mendesain suatu sistem atau proses untuk menyelesaikan masalah berdasarkan prinsip teknik kimia (perubahan bahan baku menjadi produk yang mempunyai nilai tambah melalui proses fisika, kimia, dan biologi secara aman, ramah lingkungan, dan ekonomis) dengan memanfaatkan metode, teknik, dan instrument rekayasa modern, serta menganalisis dan mengevaluasi hasilnya dalam Batasan yang ada.

CAPAIAN PEMBELAJARAN MATA KULIAH (CPMK)



CPMK 1 Memiliki moral, etika, dan kepribadian yang baik dalam menyelesaikan tugas selama proses pembelajaran yang terkait pada mata kuliah Nanoteknologi.

CPMK 2 Menguasai prinsip dan metode keteknik kimiaan, prinsip ekonomi, dan proses ekologi untuk dapat berperan sebagai tenaga ahli (sub professional) yang menangani masalah Teknik Kimia dengan menggunakan ilmu nanotechnology secara mandiri.

CAPAIAN PEMBELAJARAN MATA KULIAH (CPMK)



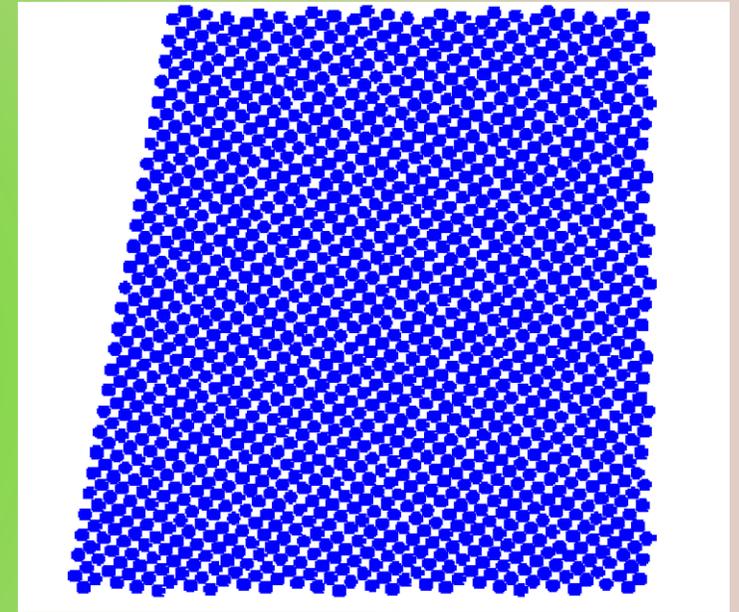
CPMK 3 Mampu memahami kebutuhan pembelajaran sepanjang hayat melalui proses evaluasi diri, mengelola pembelajaran diri sendiri, dan secara efektif mengkomunikasikan informasi dan ide dalam berbagai bentuk media kepada masyarakat bidang Teknik Kimia atau masyarakat umum dengan yang terkait dengan ilmu nanoteknologi.

CPMK 4 Mampu memahami ilmu nanoteknologi untuk menyelesaikan masalah berdasarkan prinsip Teknik Kimia yang saling terkait dengan aspek material, energi, dan lingkungan.

Struktur Material

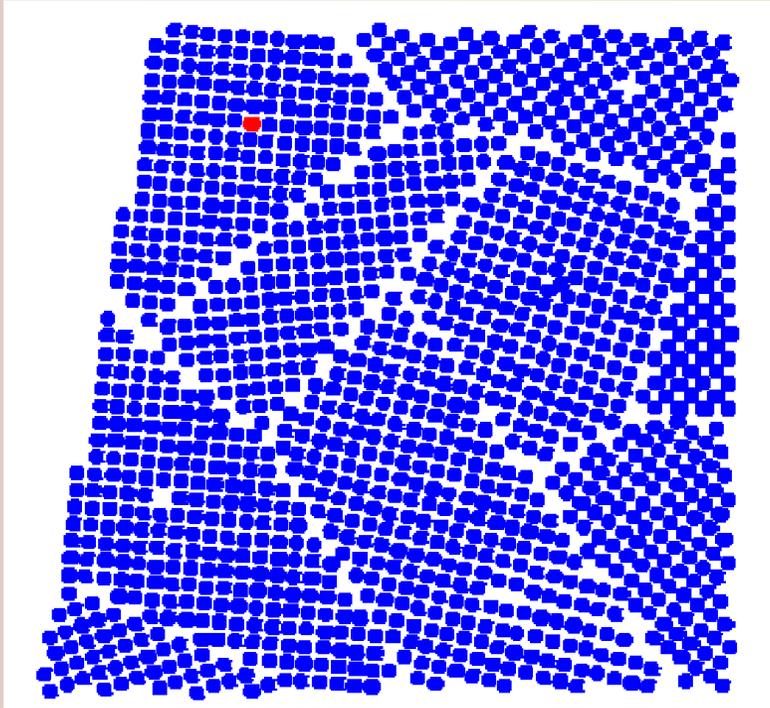
Representasi dua dimensi dari kristal tunggal yang sempurna dengan susunan atom biasa.

- Kenyataannya tidak ada yang sempurna



Gambar dari Helmut Föll, University of Kiel, Germany

Struktur Kristal Poli



Gambar skematis dari poli-kristal dengan banyak cacat kristal.

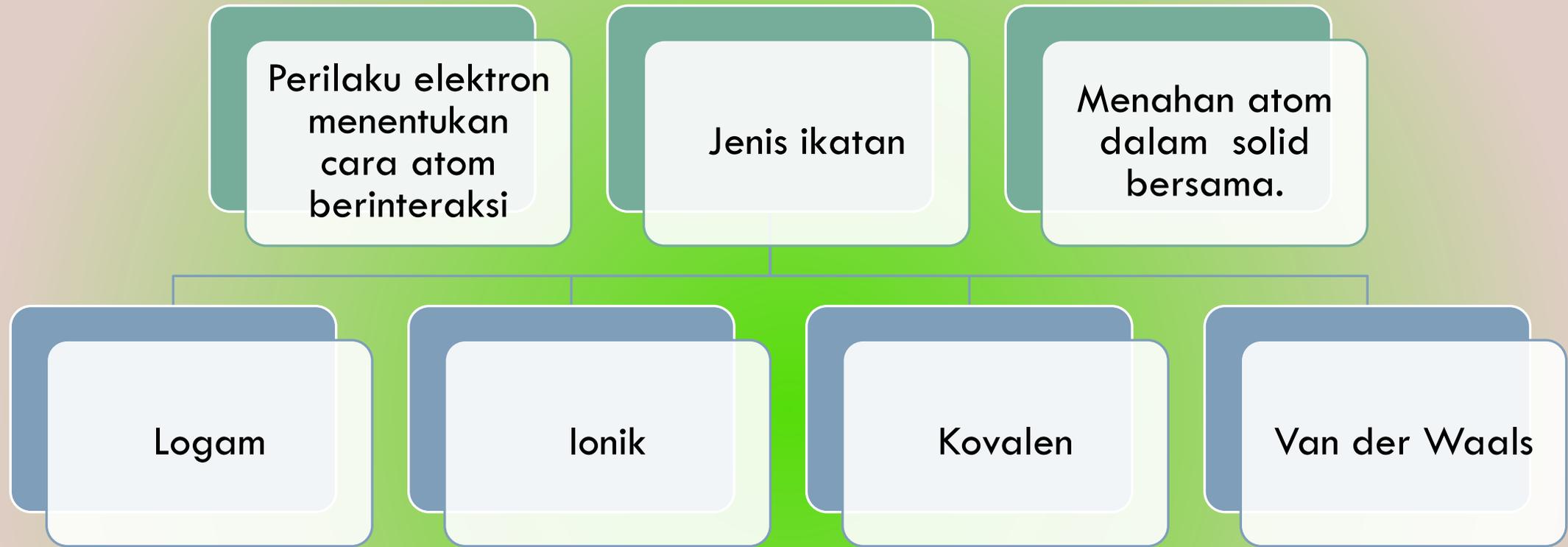
- Beberapa butir kristal dipisahkan oleh batas-batas
- Beberapa atom hilang dan atom ekstra
- Serta atom yang terputus

Pernyataan Tentang Cacat Kristal

Kristal tidak pernah sempurna akan selalu ada cacat kristal

Menurut Colin Humphreys:

“Kristal itu seperti manusia, cacat kristal membuat kristal menarik!”



Pendahuluan Cacat Kristal

Topik Cacat Kristal

01

Topik yang akan dibahas adalah berbagai

- Jenis ketidaksempurnaan atau cacat dalam susunan atom ideal dalam kristal

02

Kehadiran yang relatif kecil dari suatu cacat kristal berdampak besar pada sifat bahan makroskopis

03

Pengaturan cacat kristal (manipulasi struktur atom sehingga menimbulkan cacat kristal)

- Merupakan hal penting dalam banyak jenis pengolahan material.

Contoh Relevansi Cacat Kristal

Jika membeli cincin
berlian

Jumlah dan jenisnya cacat
pada kristal berlian yang
menentukan jumlah uang
yang dibayarkan untuk
ukuran kristal tertentu.

Akumulasi dan interaksi
cacat di berbagai bagian
mobil menentukan

Nilai mobil saat mobil
mulai tidak dipakai

Produksi perangkat semikonduktor tidak hanya membutuhkan kristal Silikon yang agak sempurna sebagai bahan awal

Tetapi juga melibatkan pengenalan cacat spesifik di area kecil suatu sampel.

Penempatan alat logam menimbulkan cacat dan meningkatkan

Kekuatan Elastisitas alat

Aplikasi Cacat Kristal Pada Pembuatan Semikonduktor

Catatan

Properti material
yang diperlukan
dapat dicapai
tanpa perubahan
komposisi material

Hanya dengan
memanipulasi
cacat kristal

Klasifikasi Cacat Kristal

Cacat Titik (Vacancies)

Cacat titik

- Atom hilang atau berada di tempat yang tidak beraturan pada kisi

Contoh

- Lowongan kisi (lattice vacancies)
- Substitusi (substitutional)
- Kotoran interstisial (interstitial impurities)
- Interstisial mandiri (self-interstitial)

Cacat Linier

Cacat linier

Kelompok atom dalam posisi tidak teratur



Contoh

Dislokasi sekrup
Edge dislocations

Cacat Planar

Antar muka antara daerah homogen material

Contoh

- Batas butir (Grain Boundaries)
- Kesalahan susun (Stacking Faults)
- Permukaan luar (External Surfaces)

Topik Selanjutnya

Interaksi di antara cacat kristal jenis yang berbeda dan hubungannya dengan sifat material

Termasuk bahan yang dipertimbangkan

Representasi skematis lowongan pada kristal dua dimensi.

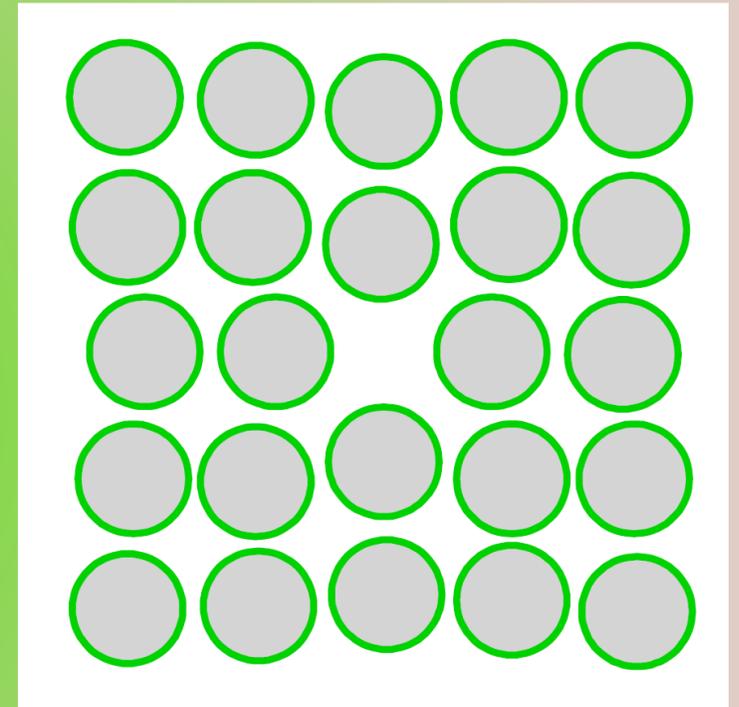


Sebuah kristal sempurna dengan susunan atom teratur adalah tidak ada



Selalu ada cacat kristal dan cacat yang paling umum adalah

Cacat titik (Point Defect)



Cacat Titik (Vacancies)

Terjadi pada suhu tinggi ketika atom secara acak mengubah posisi mereka meninggalkan situs kisi menjadi kosong

- Disebut lowongan (vacancies)

Pada banyak kasus difusi terjadi

- Transportasi massal oleh gerakan atom

Hanya dapat terjadi karena ada lowongan (vacancies)

Berapa Banyak Vacancies?

Semakin tinggi suhu maka atom lebih sering melompat dari satu posisi kesetimbangan ke posisi lain

Sehingga lebih banyak lowongan dapat ditemukan pada kristal.

Jumlah lowongan (vacancies) N_v meningkat secara eksponensial dengan suhu absolut (T)

N_v diperkirakan menggunakan persamaan (Distribusi Boltzmann)

Jumlah Vacancies (N_v)

$$N_v = N_s \exp\left(-E_v / k_B T\right)$$

- N_s adalah jumlah situs kisi
- k_B adalah Konstanta Boltzmann
- E_v adalah energi yang dibutuhkan untuk membentuk situs kisi kosong dalam kristal yang sempurna.

Tembaga (Cu)

Menggunakan persamaan sederhana maka dapat diperkirakan bahwa

Pada suhu kamar

- Tembaga mempunyai satu kekosongan untuk setiap 10^{15} atom kisi

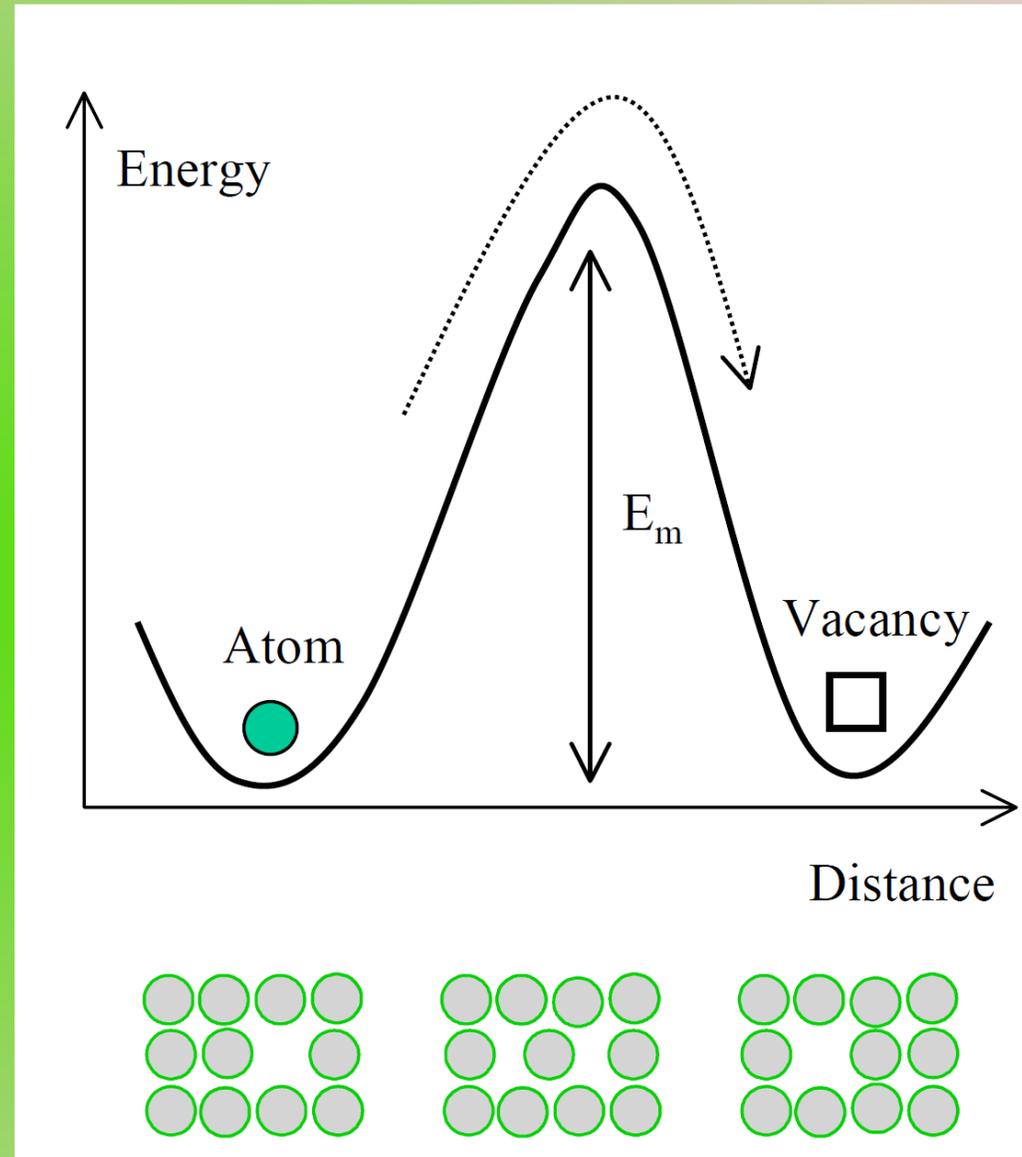
Pada suhu tinggi di bawah titik leleh

- Tembaga mempunyai satu kekosongan untuk setiap 10.000 atom

Representasi Skematis Difusi Atom Dari Posisi Awal Menjadi Situs Kisi Kosong.

Energi aktivasi
 E_m harus disuplai
ke atom

- Sehingga bisa memutuskan ikatan antar atom
- Pindah ke posisi baru.



Seberapa Sering Vacancies Berpindah?

Agar atom bisa melompat ke situs lowongan

- Perlu memiliki cukup energi
- Misalnya: energi panas

Untuk dapat melewati atom tetangga

Energi yang diperlukan untuk gerak E_m

- disebut energi aktivasi untuk gerakan kekosongan

Energi Termal Rata-Rata vs E_m

Energi termal rata-rata sebuah atom biasanya jauh lebih kecil dari pada energi aktivasi E_m

Fluktuasi energi yang besar

- ketika energi "dikumpulkan bersama" dalam volume kecil
- dibutuhkan untuk melompat

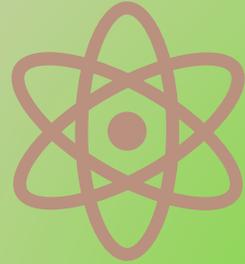
Frekuensi Lompatan (R_j)

Kemungkinan fluktuasi tersebut atau frekuensi lompatan, R_j ,

- Bergantung secara eksponensial dari suhu
- Dapat dijelaskan dengan persamaan yang dikaitkan dengan ahli kimia Swedia Arrhenius:

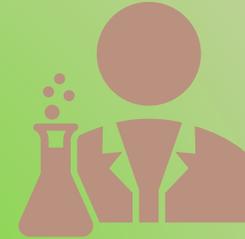
$$R_j = R_0 \exp\left(-\frac{E_m}{k_B T}\right)$$

- Dimana R_0 adalah frekuensi percobaan yang sebanding dengan frekuensi getaran atom.



Interstisial

Atom yang terjepit di antara regular situs kisi.

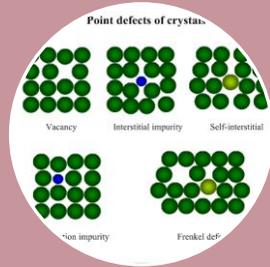


Jika atom interstisial dari spesies yang sama sebagai atom kisi

Disebut interstisial mandiri (self-interstitial)

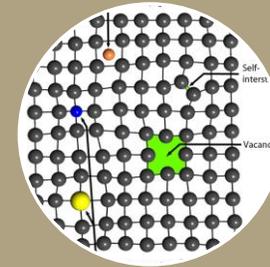
Lebih Lanjut Tentang Cacat Titik

Proses Terjadinya Self-Interstitials (Pengantara Mandiri)



Penciptaan pengantara mandiri menyebabkan distorsi yang cukup besar di kisi di sekitarnya

- Menghabiskan lebih banyak energi dibandingkan energi untuk menciptakan kekosongan ($E_i > E_v$)



Pada Kondisi ekuilibrium terdapat konsentrasi pengantara mandiri (self-interstitials) yang lebih rendah daripada lowongan (vacancies)



Substitutional Impurity



Pengotor adalah atom yang lebih kecil

Karbon, nitrogen, hidrogen, oksigen disebut kotoran interstisial.



Pengotor memperkenalkan distorsi kisi

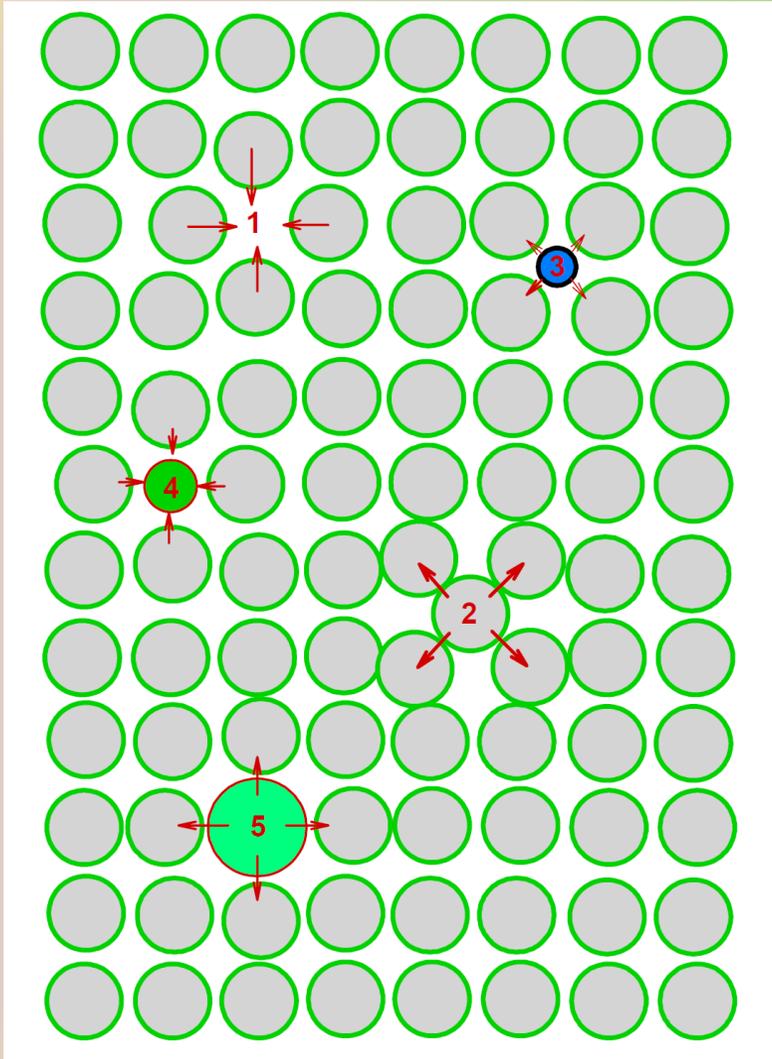
Lebih umum di bahan nyata dan lebih mobile.



Jika atom asing menggantikan atom asal atau substitusi untuk atom matriks

Disebut ketidakmurnian substitusional

Representasi Skematis Cacat Kristal



- Representasi skematis dari titik yang berbeda cacat pada kristal
 - 1) Lowongan
 - 2) Self interstitial
 - 3) Ketidakmurnian interstisial
 - 4) Pengotor substitusi
 - 5) Pengotor substitusi
- Panahnya menunjukkan tekanan lokal yang disebabkan oleh poin cacat.

Distorsi Lokal dan Tekanan Eksternal

Semua titik cacat memperkenalkan distorsi lokal pada kisi

Distorsi yang bisa dirasakan satu sama lain (berinteraksi) dan adanya tekanan eksternal

Tekanan eksternal atau tekanan dari cacat yang lebih besar dapat memberikan arah ke lompatan acak atom

Hasil gradien tekanan dalam fluks lowongan ke arah wilayah terkompresi dari sampel



Dalam kristal ionik

Contoh: Garam dapur, Na^+Cl^-

Ikatannya disebabkan oleh gaya coulomb antara ion positif dan ion bermuatan negatif



Cacat titik pada kristal ionik ada juga yang bermuatan

Gaya Coulomb sangat besar

Ketidakseimbangan muatan apa pun memiliki kecenderungan yang sangat kuat untuk menyeimbangkan diri sendiri

Kristal Ionik

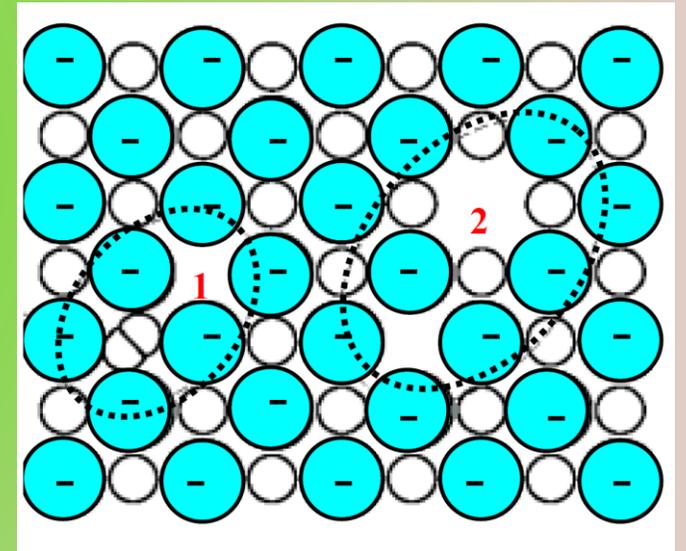
Representasi

Cacat Frenkel (1)

- Pasangan lowongan-interstisial

Cacat Schottky (2)

- Sepasang kation dan anion lowongan dalam kristal ionik.



Cacat Titik Muatan Netral

Untuk menjaga netralitas muatan beberapa cacat titik dapat dibuat

Cacat Frenkel adalah sepasang kekosongan kation (ion positif) dan interstisial kation.

Dapat juga berupa kekosongan anion (ion negatif) dan anion interstitial.

Namun anion jauh lebih besar dari kation dan tidak mudah untuk membentuk interstisial anion.

Cacat Frenkel vs Cacat Schottky

Cacat Schottky adalah sepasang lowongan anion dan kation

Baik dalam cacat Frenkel dan Schottky

Pasangan cacat titik tetap dekat satu sama lain

Karena kuatnya daya tarik coulomb dari muatan yang berlawanan

Dislokasi

01

Peleburan dan penempaan logam menandai awal mula peradaban.

02

Trial and error selama periode waktu ini mengarah pada tingkat kesempurnaan yang menakjubkan

03

Seperti yang dapat dilihat di sekitar kita dan di banyak museum.

Kenapa Logam Dapat Berubah Bentuk Seperti Plastik?

Kenapa sifat deformasi pada plastik dapat diubah menjadi sangat besar dengan menempa

Tanpa mengubah komposisi kimianya



Awal 1900-an ilmuwan memperkirakan bahwa logam dapat mengalami deformasi plastik

Pada gaya yang jauh lebih kecil dari teori kekuatan gaya yang menahan atom logam bersama



Taylor, Orowan dan Polanyi

Tahun 1934

Taylor, Orowan dan Polanyi

Menemukan dislokasi

Penemuan Dislokasi

Dislokasi dapat dianggap sebagai bidang kisi ekstra yang dimasukkan di kristal

Tidak memanjang ke seluruh kristal

Tetapi berakhir di garis dislokasi

Deformasi Plastis



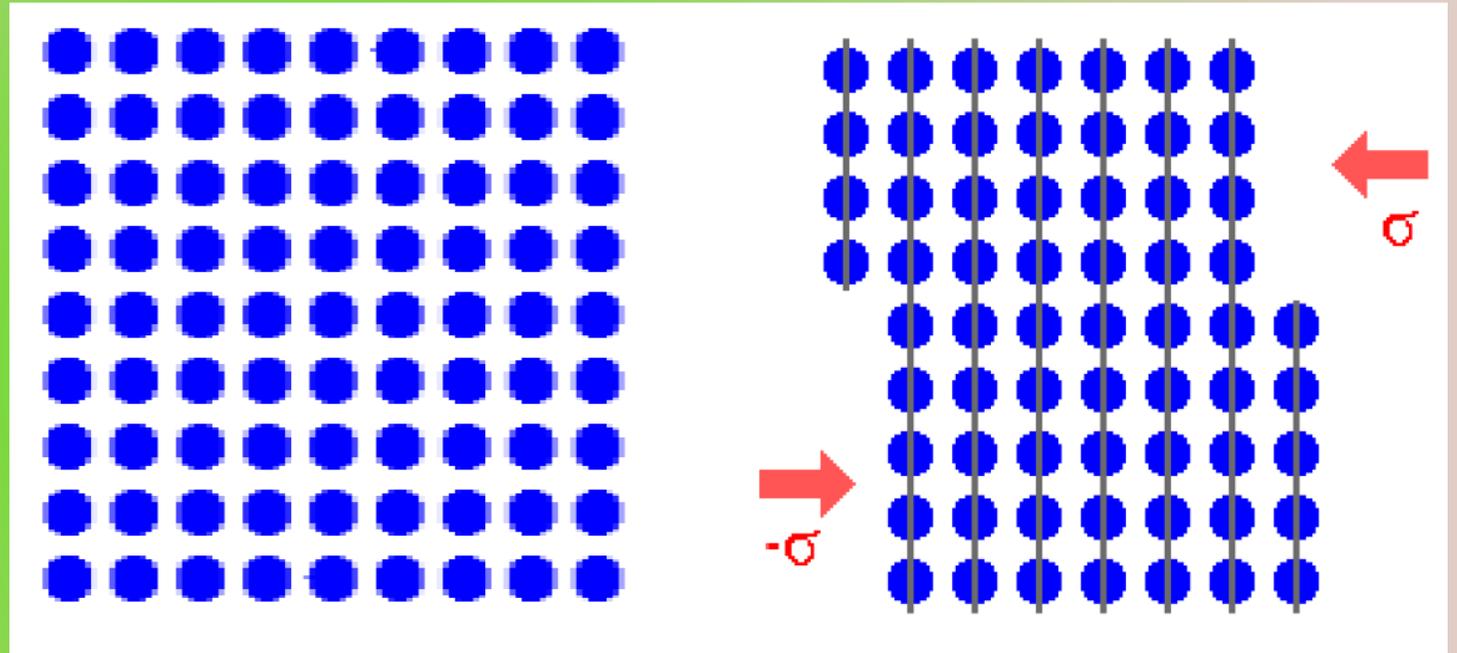
Gerakan dislokasi
memungkinkan slip

Deformasi plastis ketika
ikatan antar atom dipecah
dan dibentuk kembali

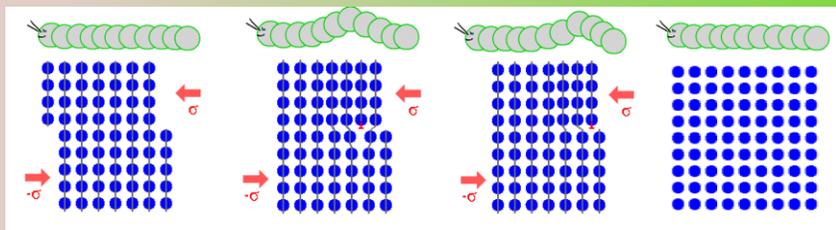
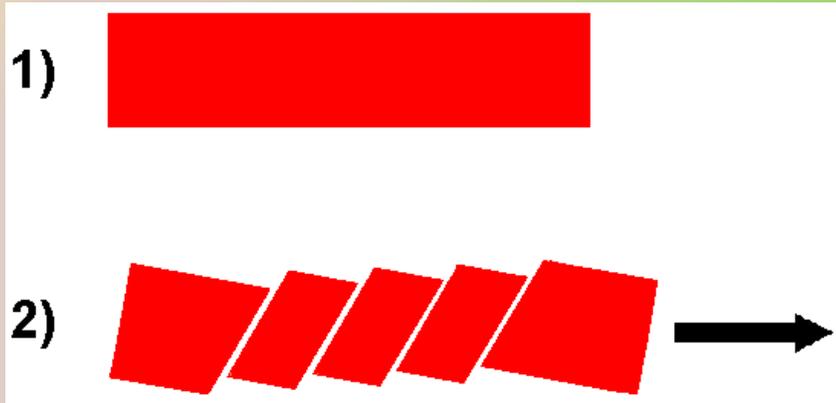
Slip selalu terjadi melalui
gerakan dislokasi.

Deformasi Plastis

Ketika stres cukup
untuk secara
permanen merusak
struktur logam



Dislokasi



Dislokasi memungkinkan slip pada tegangan yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan kristal sempurna

Jika bagian atas kristal bergeser satu bidang pada satu waktu

Maka hanya sebagian kecil dari ikatannya rusak pada waktu tertentu

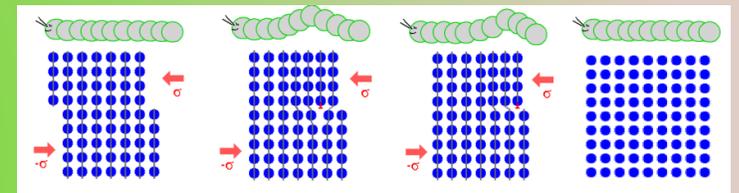
Hanya membutuhkan gaya yang jauh lebih kecil.

Dislocations

Suatu bidang akan bergerak pada saat dislokasi dibuat dan menyebar melintasi kristal.

Penyebaran satu dislokasi melintasi bidang menyebabkan setengah atas kristal bergerak dilanjutkan dengan setengah bagian bawah

- Tetapi tidak diperlukan untuk memutuskan semua ikatan di bidang tengah secara bersamaan
- Karena akan membutuhkan gaya yang sangat besar

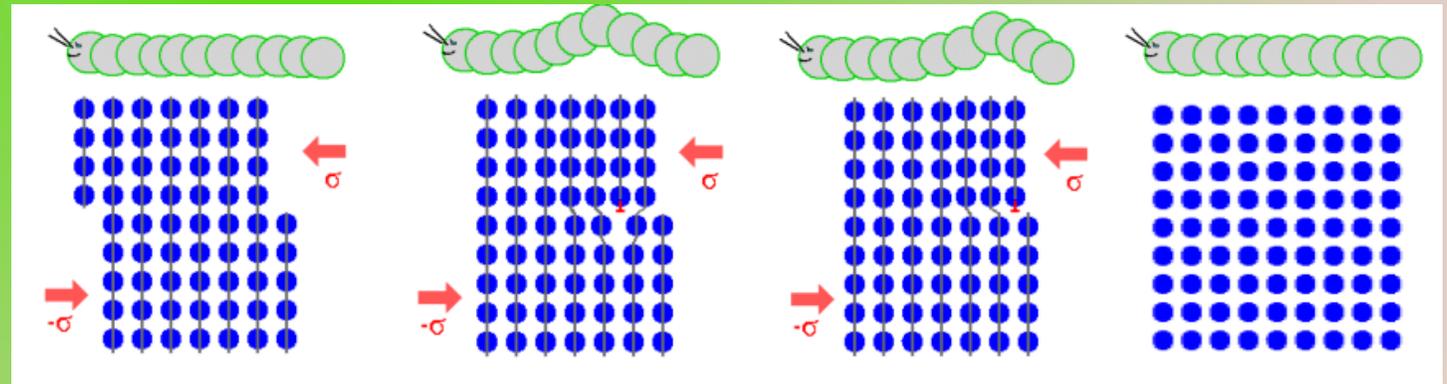


Analogi Gerakan Ulat

Gerakan dislokasi dianalogikan dengan gerakan ulat.

Ulat itu harus mengerahkan tenaga yang besar memaksa untuk menggerakkan seluruh tubuhnya sekaligus.

- Sebaliknya bagian belakang bergerak maju sedikit dan menciptakan punuk.



Planar defects, Grain Boundaries, And Polycrystals

Kristal tunggal jarang ditemukan di material nyata kecuali kondisi pertumbuhannya dirancang dan dikendalikan secara khusus

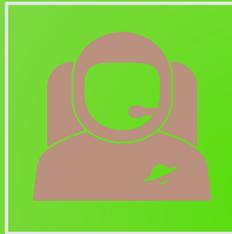
- kristal tunggal silikon
- Perangkat mikroelektronik
- Bilah untuk mesin turbin terbuat dari superalloy

Polikristal



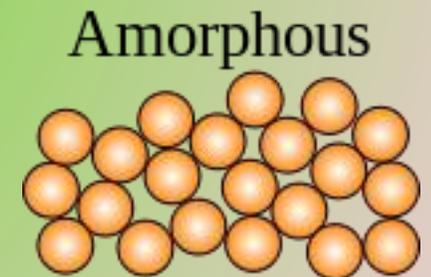
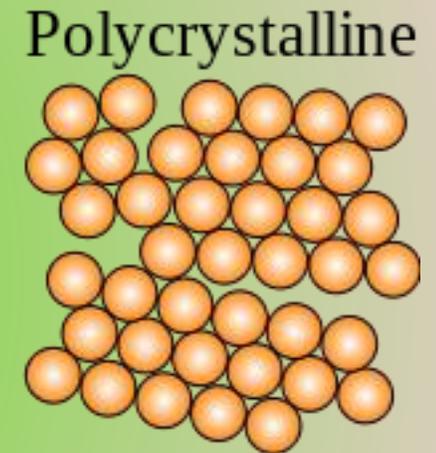
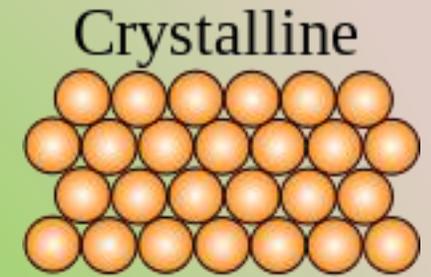
Sebaliknya padatan umumnya terdiri dari sejumlah kristal atau butiran kecil.

Biji-bijian berukuran dari nanometer ke milimeter



Orientasi bidang atom diputar searah dengan biji-bijian atom tetangga.

Bahan-bahan ini disebut polikristal

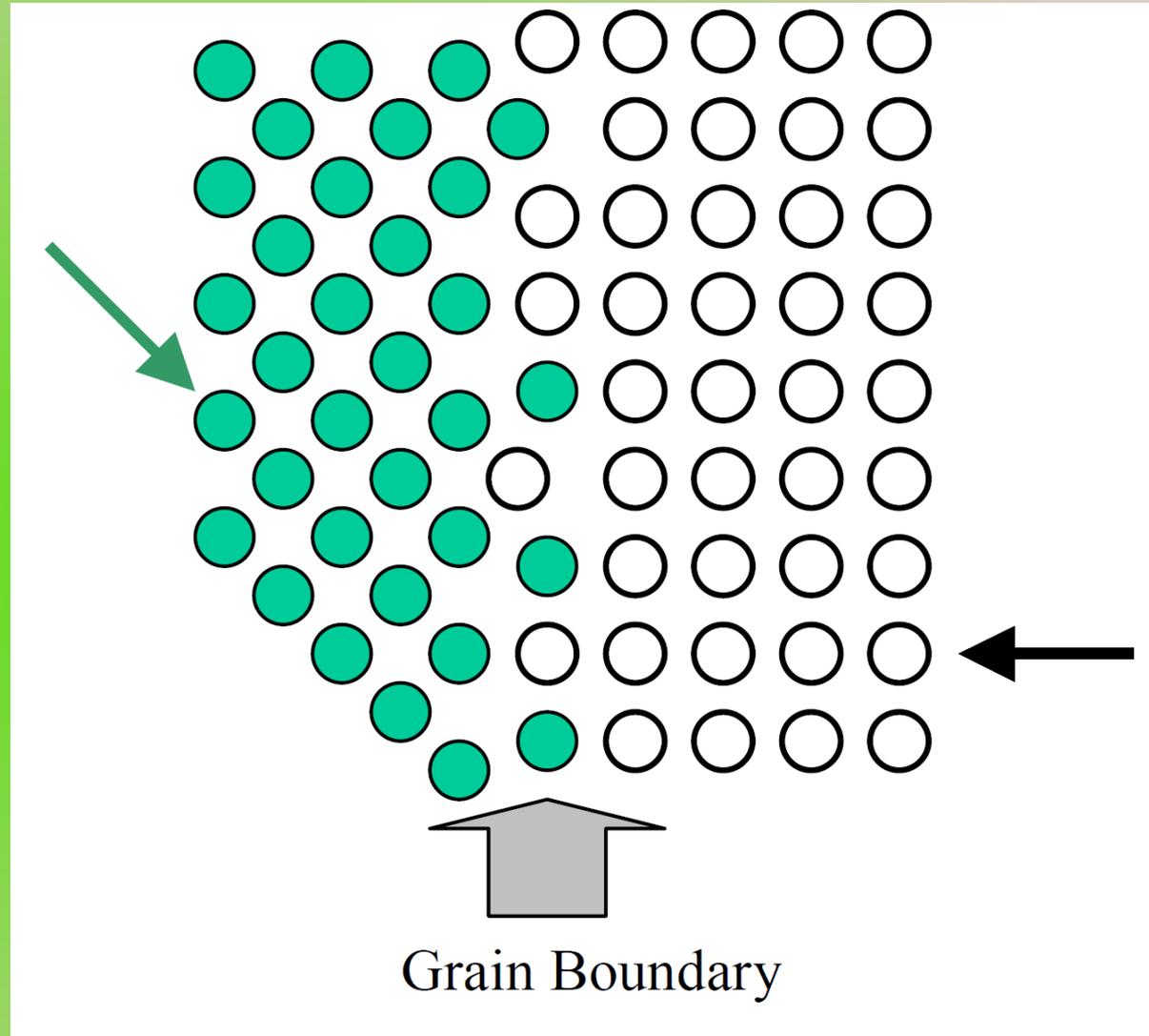


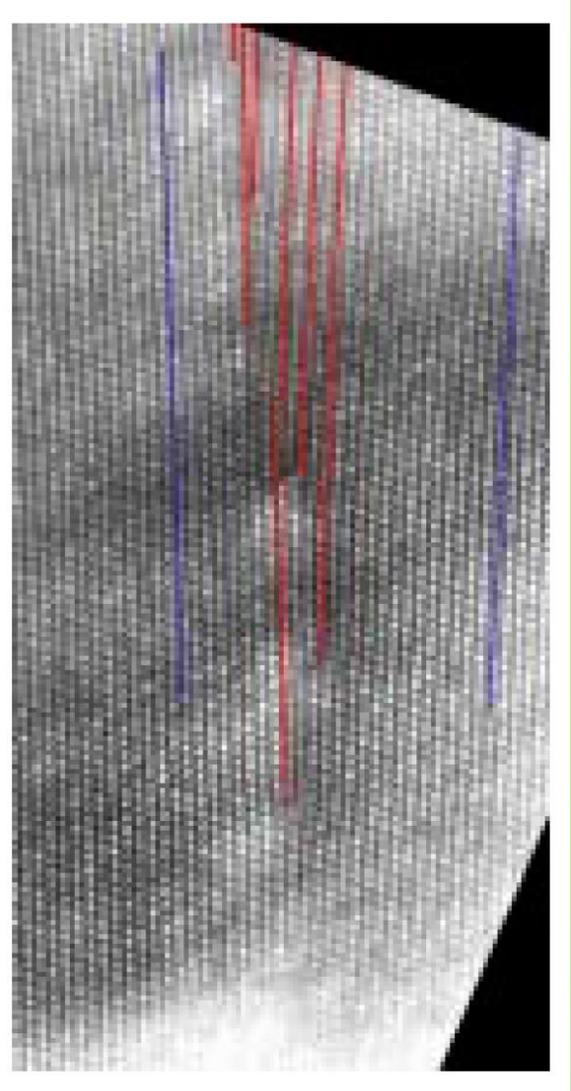
Batas Butiran (Grain Boundary)

Butir individu dipisahkan
oleh batas butir

Daerah kurang padat
dan dikemas secara
teratur

- Dibandingkan dengan
sebagian besar butiran atom





Larik Dislokasi

Batas butir sudut kecil dan batas butir bersudut besar dapat dibedakan.

Sangat memungkinkan untuk menggambarkan sudut kecil batas butir

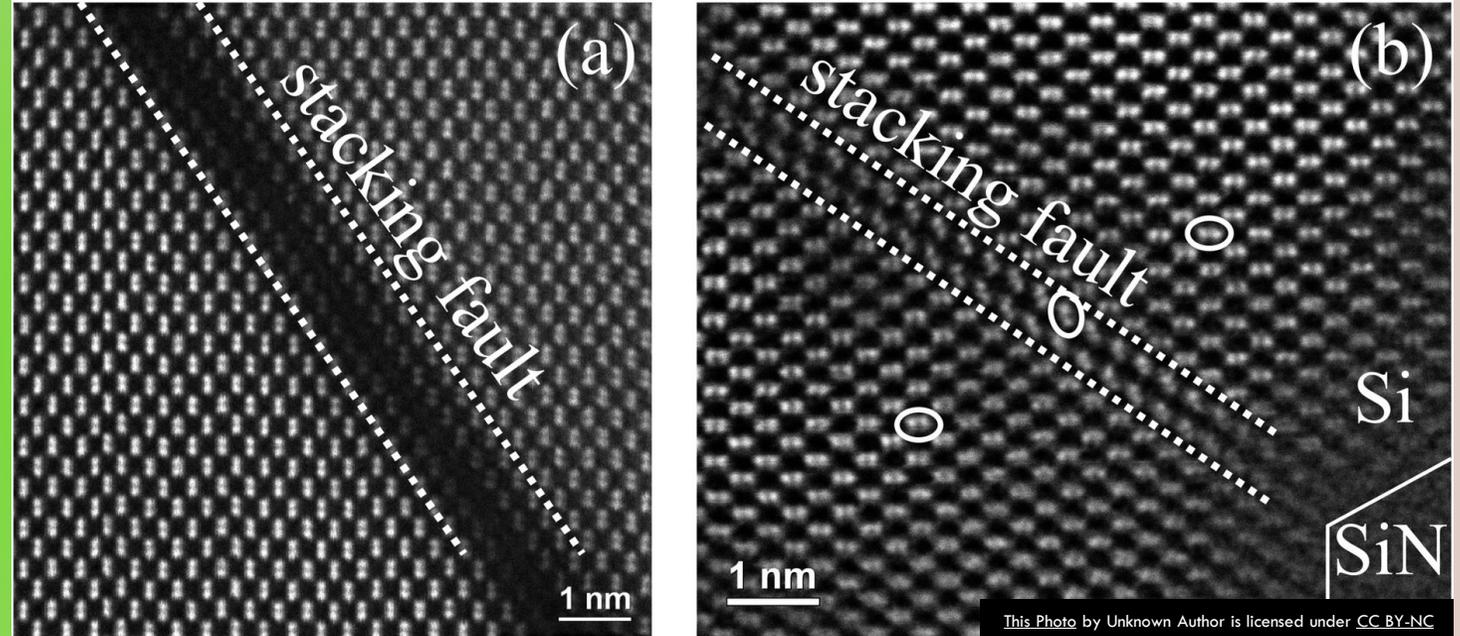
- Sebagai larik dislokasi (Array of dislocations)

Stacking Fault (Kesalahan Susun)

Jenis cacat permukaan lainnya dalam kisi

Dimana urutan bidang atom mengalami kesalahan

Kesalahan susun



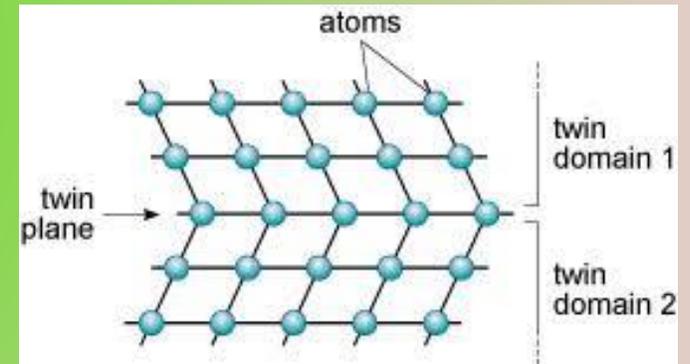
Twin Boundaries (Batas Kembar)

Batas kembar serupa dengan kesalahan susun

- Dapat diproduksi oleh deformasi material.

Ini menimbulkan shape memori metals

- Dapat memulihkan bentuk aslinya
- Jika dipanaskan hingga suhu tinggi.



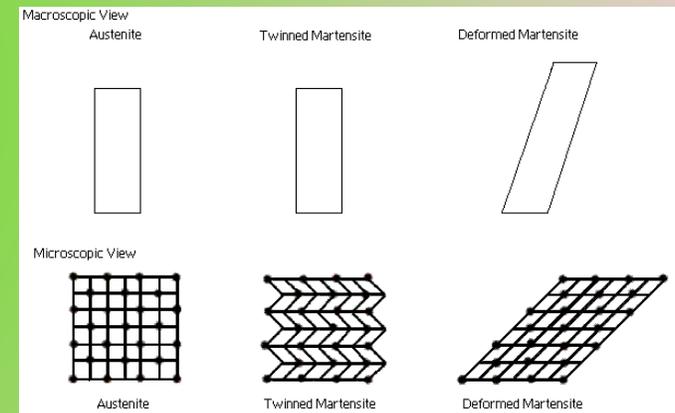
Shape Memori Alloys

Shape memori Alloys adalah kembar

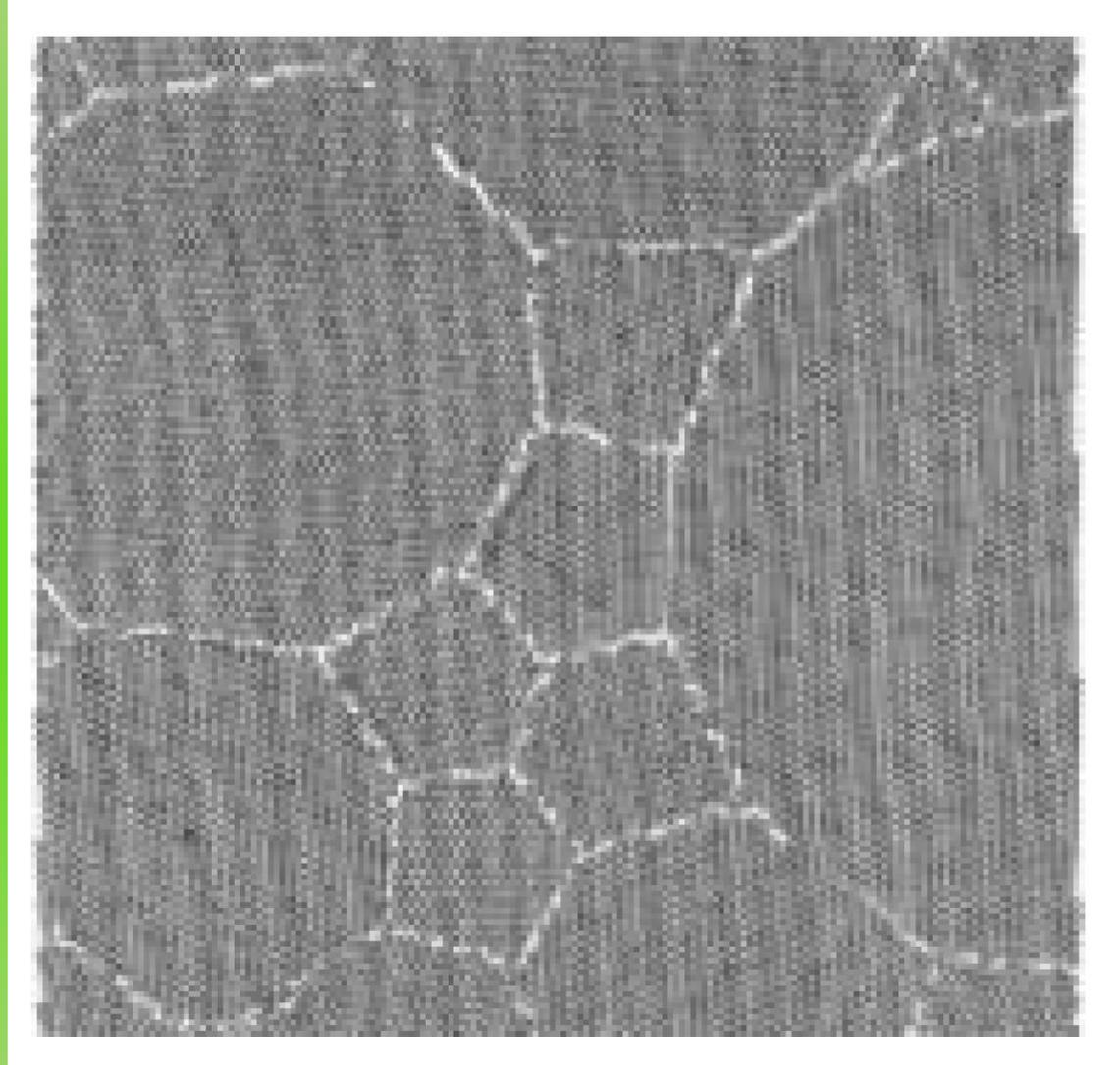
- Ketika shape memori alloys cacat
- Maka sifat kembarnya akan hilang

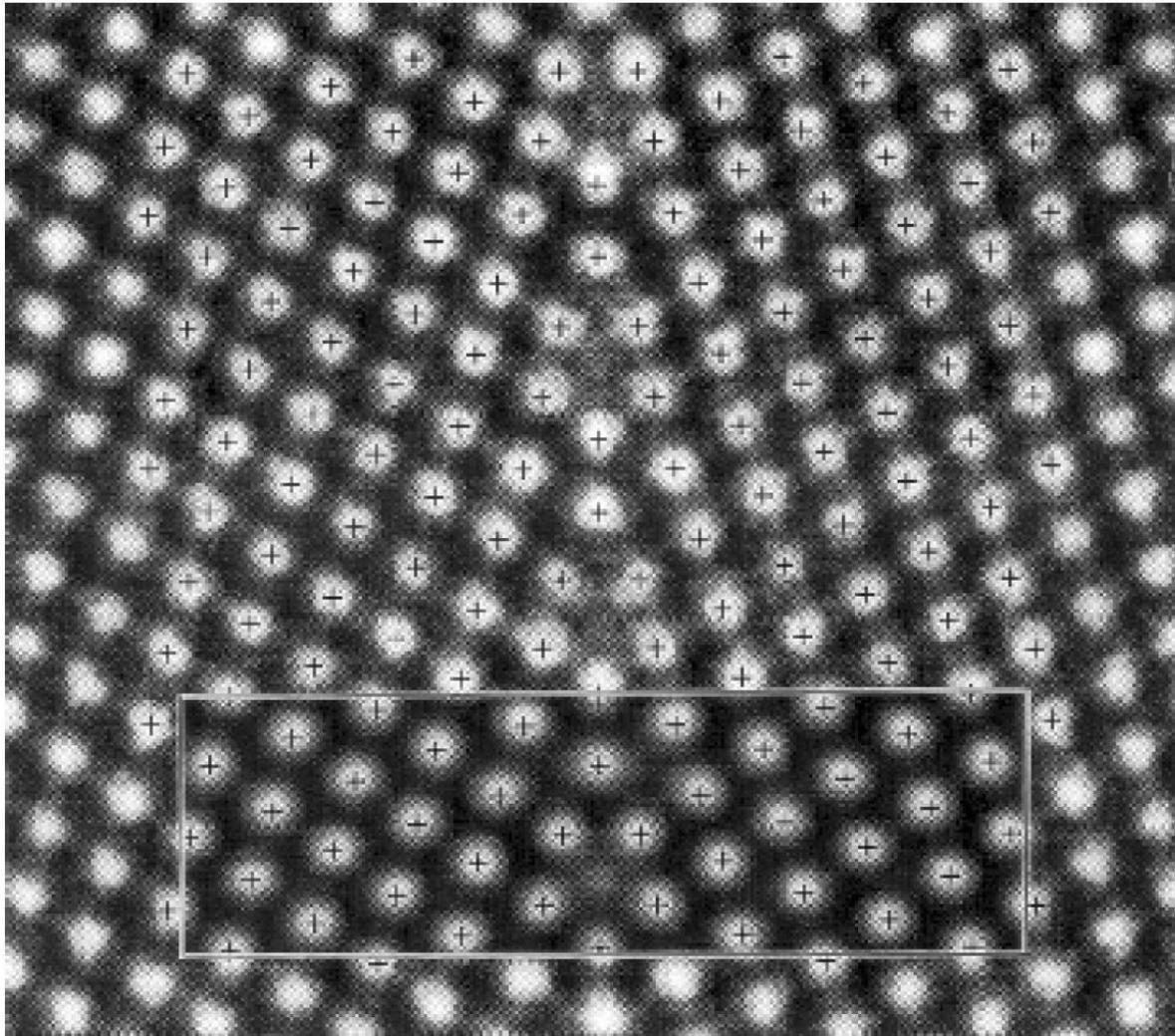
Pada suhu tinggi shape memori alloys kembali ke konfigurasi kembaran awal

- Mengembalikan bentuk aslinya



Model atomistik padatan nanokristalin





Mikroskop Elektron
Transmisi Resolusi
Tinggi dari batas
butir kemiringan
dalam
aluminium