

BAB II

DASAR TEORI

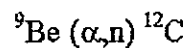
II.1 Sejarah Penemuan Neutron

Pada tahun 1930, fisikawan Jerman W.Bothe dan H.Becker menembak Li, B, dan Be dengan partikel alfa dari cuplikan polonium dan menemukan pancaran radiasi yang mampu menembus timbal (Pb) dengan mudah. Boron mengalami reaksi $^{10}\text{B}(\alpha,p)^{13}\text{C}$ dimana inti C yang tereksitasi merupakan penyebab sinar- γ . Radiasi dari target Li dianggap berasal dari hamburan tak elastis partikel α dengan Li. Bothe dan Becker berkeyakinan bahwa radiasi yang dipancarkan adalah sinar- γ . Kemampuannya menembus Pb menimbulkan dugaan bahwa sinar- γ memiliki panjang gelombang yang sangat kecil.

Penafsiran Bothe dan Becker benar untuk B dan Li, tapi tidak untuk Be. Irene Curie dan F.Joliot mengamati bahwa jika radiasi dari target Be jatuh pada parafin, bahan yang kaya akan hidrogen, protonnya terlempar keluar. Sepintas hal ini analog dengan sinar-x yang memberikan energinya pada elektron melalui hamburan Compton. Sinar- γ yang energinya lebih besar dari sinar-x, mentransfer energinya pada proton melalui proses serupa⁽¹⁾.

Pada tahun 1932, James Chadwick berkesimpulan bahwa disamping radiasi- γ , juga dilepaskan partikel asing yang bersifat netral dengan massa hampir sama dengan massa proton. Sifat netral didasarkan pada kemudahannya

menembus berbagai bahan tanpa terpengaruh potensial coulomb. Partikel ini juga harus bermassa hampir sama dengan proton karena hanya dengan massa yang hampir sama partikel ini mampu memberikan seluruh energinya pada proton. Chadwick menamakan partikel ini neutron (disimbolkan n). Produksi neutron dari iradiasi ${}^9\text{Be}$ dengan partikel α ditulis sebagai berikut :



Penemuan neutron sekaligus mengakhiri teka-teki partikel penyusun inti selain proton. Pada tahun yang sama W.Heisenberg sampai pada kesimpulan bahwa inti hanya tersusun atas proton dan neutron. Neutron diasumsikan sebagai partikel stabil di dalam inti[Ⓞ].

- Berdasarkan energinya neutron yang digunakan untuk reaksi inti dapat dikategorikan menjadi :

| | |
|-------------------|------------|
| Neutron Termal | ~ 0,025 eV |
| Neutron Epitermal | ~ 1 eV |
| Neutron Lambat | ~ 1 KeV |
| Neutron Cepat | > 0,1 MeV |

II.2 Interaksi Neutron Dengan Materi

Neutron merupakan bagian inti yang tidak bermuatan listrik, dengan sifat tersebut maka neutron tidak terpengaruh oleh medan listrik maupun medan

magnet. Untuk dapat memberikan efek kepada materi yang ditembus, maka neutron harus masuk atau minimal menuju inti sedekat mungkin agar gaya inti bekerja pada neutron tersebut. Mekanisme interaksi neutron dengan materi dapat dibedakan sebagai berikut :

II.2.1 Hamburan elastis (n,n)

Pada peristiwa ini neutron menumbuk inti dan langsung dihamburkan kembali. Jumlah energi gerak dari neutron dan inti atom sebelum dan sesudah tumbukan tidak berubah. Inti atom tidak dalam keadaan tereksitasi.

II.2.2 Hamburan tak elastis (n,n), ($n,n'\gamma$), ($n,2n$)

Pada peristiwa ini jumlah energi dari sistem tumbukan tidak berubah, tetapi jumlah energi kinetik sesudah tumbukan lebih kecil dari pada sebelum tumbukan. Sebagian energi kinetik ini dipakai untuk mengeksitasi inti atom ke tingkat energi yang lebih tinggi. Pada tingkat energi yang lebih tinggi ini inti atom dalam keadaan tidak stabil, maka inti atom akan kembali ke tingkat energi dasar dengan memancarkan foton- γ . Peristiwa ini hanya terjadi pada neutron cepat. Untuk energi neutron yang sangat besar ($E_n > 10 \text{ MeV}$) akan terjadi reaksi ($n,2n$).

II.2.3 Tangkapan neutron sederhana (n, γ)

Pada peristiwa ini neutron menumbuk dan bergabung dengan inti atom. Inti yang baru terbentuk dapat bersifat stabil maupun tidak stabil dan akan mengalami proses peluruhan radioaktif. Biasanya memancarkan foton- γ dalam orde MeV.

II.2.4 Pembentukan partikel bermuatan (n,p), (n,d), (n, α)

Pada peristiwa ini neutron menumbuk dan bergabung dengan inti atom, kemudian diikuti pelepasan partikel bermuatan. Partikel-partikel bermuatan tersebut harus dapat mengatasi barier coulomb sebelum terlepas. Peristiwa ini kebanyakan terjadi pada inti ringan dengan neutron cepat. Pengecualian terpenting adalah untuk neutron termal pada reaksi (n, α) dimana energi eksotermisnya cukup untuk mengatasi barier coulomb. Contoh untuk pengecualian tersebut adalah $\text{Li}(n,\alpha)\text{H}$ dan $\text{B}(n,\alpha)\text{Li}$.

II.2.5 Reaksi pembelahan (n,fisi)

Peristiwa ini terjadi bila inti majemuk membelah menjadi dua fragmen pembelahan dan satu atau lebih neutron. Contoh ${}_{92}\text{U}^{235} + {}_0\text{n}^1$ membelah menjadi ${}_{54}\text{Xe}^{140} + {}_{38}\text{Sr}^{94} + 2 {}_0\text{n}^1$

II.3 Efek Radiasi Neutron Pada Material

Interaksi neutron dengan material bisa memberikan dua efek yaitu efek perbaikan ataupun efek kerusakan pada sifat-sifat material. Tingkat perbaikan ataupun tingkat kerusakan sifat-sifat material sangat ditentukan oleh energi neutron, massa dan nomor atom sasaran, serta besarnya fluen yang diterima material. Pada fluen tertentu akan memberikan efek perbaikan tetapi pada fluen yang tinggi maka efek yang terjadi adalah efek kerusakan. Efek perbaikan yang diakibatkan oleh interaksi neutron dengan material diantaranya adalah meningkatnya kekuatan dan kekerasan material, sedangkan akibat yang tidak

diinginkan adalah adanya efek penggetasan (embrittlement), efek pengelembungan (swelling), maupun efek bertambahnya laju pemuluran (creep rate).

Kerusakan-kerusakan pada material tersebut bisa mencakup cacat titik, cacat garis, ataupun cacat bidang. Cacat-cacat tersebut timbul sebagai akibat dari terpentalnya atau bergesernya atom-atom sasaran dari posisi kisinya, sehingga tempat-tempat yang ditinggalkan atom yang bergeser tadi menjadi kosong (vacancies), keadaan demikian dinamakan cacat titik (point defect). Atom-atom yang terpental tadi bila energinya masih cukup besar, maka ia akan mampu menggeser atom-atom disekitarnya yang kebetulan tertumbuk, sehingga untuk satu neutron akan bisa menghasilkan satu kekosongan bahkan bisa sampai ribuan atom, tergantung dari besar kecilnya energi awal dari partikel penumbuknya. Proses demikian berlangsung secara berkesinambungan dan akan berhenti kalau energinya habis akibat kehilangan energinya setiap kali terjadi tumbukan. Bersamaan dengan terbentuknya pasangan kekosongan dan sisipan, pada suatu saat neutronpun juga akan kehabisan energinya dan pada kedalaman tertentu akan terhenti dan tertangkap dan akan menghasilkan transmudasi inti dengan menghasilkan isotop baru[Ⓞ]. Dengan kehadiran isotop-isotop tersebut berarti pada material akan tercipta cacat bidang (plane defect). Dengan terbentuknya cacat-cacat tersebut maka pada material akan terjadi medan tegangan dalam (internal stress) yang cukup besar. Dengan demikian untuk menggerakkan cacat-cacat tersebut diperlukan energi yang cukup besar lagi dengan kata lain material menjadi jauh lebih kuat. Juga dengan terbentuknya cacat-cacat tadi pada material akan mengalami perubahan struktur mikro

maupun struktur kristalnya. Perubahan struktur tersebut erat sekali dengan perubahan sifat mekanik, fisik, dan kimianya ^③.

Akibat yang lebih serius lagi yaitu kalau sampai kekosongan tadi berkumpul maka akan terbentuklah suatu rongga, hal ini berarti bahwa material akan mengalami perubahan dimensi (menjadi lebih besar) sedang kerapatannya (ρ) menurun. Disamping itu produk fisi yang berwujud gas akan cenderung mengisi rongga-rongga tersebut sehingga bisa mengakibatkan penggelembungan (swelling) ^③.

Parameter-parameter yang akan mempengaruhi tingkat kerusakan material yang diiradiasi dengan neutron adalah energi dan massa neutron, nomor dan massa atom sasaran serta lamanya proses iradiasi. Lamanya proses iradiasi berhubungan dengan jumlah neutron yang diterima material persatuan luas permukaan sasaran (fluen) ^④.

Tingkat kerusakan material sasaran akibat radiasi (radiation damage) sangat ditentukan oleh jumlah cacat-cacat yang terbentuk selama proses iradiasi. Jumlah cacat-cacat tersebut sangat ditentukan oleh jumlah atom-atom sasaran yang tergeser atau terpental. Parameter-parameter yang menentukan jumlah atom yang tergeser dari posisi asalnya adalah energi neutron, jumlah neutron yang menumbuk serta energi ikat atom sasaran relatif terhadap posisinya (E_d). Selanjutnya energi ikat tersebut dinamakan energi yang diperlukan untuk menggeser atom-atom sasaran dari posisi awalnya (displacement energy). Bila energi neutron $E_n < E_d$, maka energi neutron sebesar E_n tersebut tidak akan mampu menggeser atom sasaran dari posisi asalnya, atom sasaran cuma bergetar

disekitar posisi seimbangnya, jadi tidak ada atom yang bergeser. Secara matematis dapat dituliskan dalam bentuk persamaan :

$$v_d(E_n) = 0 \quad \text{bila } E_n < E_d \quad \dots\dots\dots(2-1)$$

Bila energi neutron $E_d < E_n < 2E_d$ berarti energi neutron yang ditransfer ke atom-atom sasaran sehingga dihasilkan satu atom PKA (Primary Knockon Atom) minimal E_d . Energi neutron yang tersisa tersebut tidak akan mampu menggeser atom berikutnya, hanya mampu menggetarkan atom disekitar posisi seimbangnya. Jadi untuk energi neutron pada daerah tersebut cuma mampu menghasilkan satu atom yang bergeser. Secara matematis dapat dituliskan dalam bentuk persamaan :

$$v_d(E_n) = 1 \quad \text{bila } E_d < E_n < 2E_d \quad \dots\dots\dots(2-2)$$

sedang bila energi neutron $E_n > E_d$ maka menurut Olander^(2,3) jumlah atom yang bergeser diberikan oleh persamaan :

$$v_d(E_n) = \frac{E_n}{2 E_d} \quad \text{bila } E_n > E_d \quad \dots\dots\dots(2-3)$$

dimana :

$$E_m = \frac{4M_n M_s}{(M_n + M_s)^2} E_0$$

E_0 = energi mula-mula neutron (KeV)

E_m = energi maksimum yang ditransfer ke atom sasaran (KeV)

M_n = massa neutron (sma)

M_s = massa atom sasaran (sma)

Persamaan (2-1, 2-2, 2-3) berlaku untuk satu neutron saja, sedang untuk berkas neutron maka jumlah keseluruhan atom tergantung pada kerapatan atom sasaran (atom/cm^3) dan kebolehjadian terjadinya tumbukan untuk menghasilkan pergeseran atom (tampang lintang tumbukan, σ_d). Besarnya σ_d ini menurut Benjamin^② adalah :

$$\sigma_d = \frac{16 \pi a_\beta^2 Z_n^2 Z_s^2 M_n^2}{(M_n + M_s)^2 E_m^2} E_r^2 \left(\frac{E_m}{E_d} - 1 \right) \dots\dots\dots(2-4)$$

dimana :

$$a_\beta = \frac{h^2 \epsilon_0}{\pi m e^2}$$

dengan,

a_β = jari-jari atom Bohr ($5,29 \times 10^{-9}$ cm)

E_r = energi Rydberg (13,6 eV)

Sedang banyaknya atom sasaran persatuan volume (kerapatan atom) sasaran dihitung dengan persamaan :

$$N_0 = \frac{\rho N_A}{M_s} \dots\dots\dots(2-5)$$

dengan,

ρ = rapat massa atom sasaran (gr/cm³)

N_A = bilangan Avogadro (6,02 x 10²³)

M_s = massa atom sasaran (gr)

N_0 = kerapatan atom sasaran (atom/cm³)

Jumlah rata-rata atom yang bergeser akibat interaksi berkas neutron dengan atom-atom sasaran (N_d) diberikan oleh persamaan :

$$N_d = F \sigma_d v_d (E_n) N_0 \dots\dots\dots(2-6)$$

dengan,

F = Fluen neutron (n/cm²)

II.4 Aktivasi Neutron

Neutron yang dihasilkan oleh generator neutron dapat digunakan untuk mengaktivasi unsur. Yang dimaksud dengan aktivasi disini adalah proses pengaktifan suatu unsur stabil, sehingga unsur tersebut menjadi bersifat radioaktif.

Dalam analisa pengaktifan neutron cepat spesimen yang akan dianalisis diiradiasi dengan neutron cepat yang dihasilkan oleh generator neutron. Akibat iradiasi, sebagian inti dalam spesimen menangkap neutron dan bersifat radioaktif. Setelah paparan radiasi dianggap cukup, iradiasi dihentikan dan spesimen dikeluarkan dari ruang radiasi. Spesimen sekarang mengandung unsur-unsur yang bisa memancarkan sinar radioaktif. Sinar- γ yang dipancarkan berbagai unsur dalam spesimen dianalisis secara spektrometri- γ . Analisis kualitatif didasarkan pada energi- γ yang dipancarkan dan dapat digunakan untuk mengidentifikasi unsur yang terbentuk dan reaksi yang terjadi. Sedangkan analisis kuantitatif dilakukan dengan menentukan intensitas sinar- γ . Dari kedua analisis tersebut didapatkan berbagai informasi tentang spesimen.

II.4.1 Persamaan-persamaan Dalam Analisa Pengaktifan Neutron Cepat

Akibat dari iradiasi neutron pada spesimen, maka sebagian unsur dalam spesimen menjadi radioaktif. Tetapi karena pada saat yang sama radionuklida yang terbentuk meluruh, maka laju netto pembentukan radionuklida adalah selisih antara laju produksi total dan laju peluruhannya. Secara matematis dapat dituliskan:

$$\frac{(dn)}{(dt)} = \frac{(dn)_{produksi}}{dt} - \frac{(dn)_{peluruhan}}{dt}$$

$$= \phi \sigma N_T - \lambda n \quad \dots\dots\dots(2-7)$$

dengan,

n = jumlah inti radioaktif yang terbentuk

ϕ = fluks neutron (neutron/cm² dt)

σ = tampang lintang aktivasi (cm²)

N_T = jumlah nuklida sasaran

λ = konstanta peluruhan (1/dt)

Persamaan (2-7) adalah persamaan differensial orde satu tingkat pertama. Jika waktu iradiasi adalah t_r dan inti stabil sebelum iradiasi ($n=0$ pada $t=0$), maka penyelesaian persamaan (2-7) adalah:

$$n = \frac{\Phi \sigma N_T}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_r}) \quad \dots\dots\dots(2-8)$$

dan aktivitasnya adalah:

$$A_{ir} = \lambda n = \phi \lambda N_T (1 - e^{-\lambda t_r}) \quad \dots\dots\dots(2-9)$$

Dalam eksperimen untuk melakukan pencacahan spesimen harus dipindahkan dari ruang iradiasi ke ruang pencacahan. Waktu pemindahan ini dikenal sebagai waktu transit dan harus diketahui secara cermat pada analisis unsur dengan waktu paro yang pendek (dalam orde detik). Untuk memperoleh informasi

maksimum pada analisis unsur dengan waktu paro yang panjang, dapat diberikan waktu tunda sebelum spesimen dicacah.

Aktivitas radionuklida pada waktu tunda (t_d) setelah berakhirnya iradiasi adalah:

$$A_d = A_r e^{-\lambda t_d}$$

$$= \phi \sigma N_T (1 - e^{-\lambda t_r}) e^{-\lambda t_d} \dots\dots\dots(2-10)$$

sedangkan jumlah cacah kejadian peluruhan selama waktu t_c adalah:

$$C = \int_{t=0}^{t_c} k A_d e^{-\lambda t} dt$$

$$= \frac{k \phi \sigma N_T}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_r}) e^{-\lambda t_d} (1 - e^{-\lambda t_c}) \dots\dots\dots(2-11)$$

dengan $k = Y\varepsilon$ adalah tetapan yang mengandung efisiensi detektor (ε) dan prosentase peluruhan gamma, yang disebut gamma yield (Y). Sedang jumlah nuklida sasaran bisa dihitung dengan kesetaraan mol:

$$N_T = \frac{m N_A}{B A} a \dots\dots\dots(2-12)$$

secara lengkap persamaan (2-11) bisa dituliskan:

$$C = \frac{m N_A a \sigma \Phi Y \varepsilon}{B A \lambda} (1 - e^{-\lambda t_r}) e^{-\lambda t_d} (1 - e^{-\lambda t_c}) \dots\dots\dots(2-13)$$

persamaan (2-13) dipandang sebagai dasar dan persamaan akhir dari analisis pengaktifan neutron cepat.

II. 4. 2 Fluen Neutron

Fluen neutron didefinisikan sebagai hasil perkalian antara fluks neutron dengan waktu iradiasi. Secara matematis bisa dituliskan:

$$F = \phi \cdot t_r \dots\dots\dots(2-14)$$

dengan,

F = Fluen neutron (neutron/cm²)

ϕ = fluks neutron (neutron/cm² detik)

t_r = waktu iradiasi (detik)

Untuk menghitung fluen neutron harus diketahui dahulu harga fluks neutronnya. Fluks neutron dihitung dari persamaan (2-15) dengan cara menggunakan spesimen standar (lempeng Al) yang diiradiasi dengan neutron. Setelah paparan radiasi dianggap cukup, iradiasi dihentikan dan spesimen dikeluarkan dari ruang iradiasi dan dicacah menggunakan detektor NaI(Tl).

Persamaan (2-13) dapat diubah menjadi:

$$\Phi = \frac{C BA \lambda}{m N_A a \sigma Y \varepsilon (1 - e^{-\lambda t_r}) e^{-\lambda t_d} (1 - e^{-\lambda t_c})} \dots\dots\dots(2-15)$$

dimana :

ϕ = fluks neutron (neutron/cm²dt)

C = cacah terukur (cps)

m = massa spesimen (gr)

N_A = bilangan Avogadro

a = kelimpahan isotop

BA = berat atom

σ = tampang lintang serapan neutron (cm²)

Y = gamma Yield

ε = efisiensi detektor

λ = konstanta peluruhan

= $\ln 2 / T_{1/2}$ (dimana T_{1/2} = waktu paro)

t_r = waktu iradiasi (dt)

t_d = waktu tunda (dt)

t_c = waktu cacah (dt)

Bilangan Avogadro, berat atom, tampang lintang serapan neutron, kelimpahan isotop, waktu paro, dan gamma yield dapat dilihat pada tabel data nuklir.

Sedangkan efisiensi detektor dapat dihitung dengan rumus:

$$\varepsilon(E) = \frac{cps}{\phi \sigma \cdot Y(E)} \times 100\% \dots\dots\dots(2-16)$$

$$cps = \frac{\text{luas puncak serapan total}}{\text{waktu pencacahan}} = (\text{cacah / detik})$$

dps = aktivitas sumber pada saat pengukuran

$$dps = A_0 e^{-\lambda t} \dots\dots\dots(2-17)$$

sumber standar yang dipakai yaitu Co^{60} , Eu^{152} , dan Cs^{137} .

II.5 Kekuatan

Kekuatan merupakan sifat mekanik yang sangat penting dari logam. Terutama untuk perhitungan-perhitungan dalam konstruksi.

Sifat-sifat mekanik logam dapat ditentukan dengan pengujian tarik. Pada waktu ini pengujian tersebut digunakan secara luas untuk menentukan informasi-informasi dasar dari bahan dan telah diterima sebagai cara pengujian untuk menentukan spesifikasi dari material.

Uji tarik dilakukan dengan menggerakkan balok palang mesin uji dengan kecepatan yang konstan. kurva yang langsung diperoleh dari mesin uji menyatakan hubungan antara gaya tarik dengan perubahan panjang.

Dari hasil pengujian tarik akan didapat besaran-besaran seperti kekuatan tarik maksimum, kekuatan luluh, perpanjangan, dan beberapa besaran lain.

II.5.1 Kekuatan Tarik Maksimum

Kekuatan tarik maksimum suatu bahan dinyatakan sebagai beban maksimum yang dapat diterima oleh bahan dibagi dengan luas penampang semula dari batang uji⁽⁹⁾.

$$\sigma_u = \frac{F_{maks}}{A_0} \dots\dots\dots(2-18)$$

dimana :

σ_u = kekuatan tarik maksimum dari bahan (gr/cm²)

F_{maks} = beban maksimum (gr)

A_0 = luas penampang semula dari dari batang uji (cm²)

Kekuatan tarik maksimum adalah suatu sifat mekanik yang banyak ditonjolkan yang dianggap sebagai kekuatan bahan. Tetapi dalam kenyataan untuk keperluan perencanaan teknik, kekuatan tarik tidak begitu berarti. Sebenarnya sifat mekanik yang terpenting untuk menentukan kekuatan adalah batas elastisitas, karena titik ini merupakan suatu batas antara terjadinya perubahan bentuk tetap dan kembali ke bentuk semula.

II.5.2 Kekuatan Luluh

Telah dijelaskan diatas bahwa sifat mekanik yang terpenting adalah batas elastis, sehingga batas ini perlu ditentukan dalam pengujian tarik. Tetapi kenyataannya penentuan titik ini di dalam pengujian hampir tidak mungkin. Berhubungan dengan hal tersebut maka diadakan suatu pembatasan baru yang

disebut kekuatan luluh ^(6,7). Kekuatan ini didefinisikan sebagai tegangan yang timbul pada saat terjadi suatu regangan tetap atau plastis sedikit sebesar 0,001 atau 0,002 yang dinyatakan dalam persen yaitu 0,1% atau 0,2%. Dengan ini kekuatan luluh dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma_y = \frac{F(0.002)}{A_0} \dots\dots\dots(2-19)$$

dimana:

σ_y = kekuatan luluh (gr/cm²)

A_0 = luas penampang semula dari batang uji (cm²)

Suatu hal yang penting dari kekuatan luluh adalah bahwa harga tersebut dapat dipergunakan untuk meramalkan batas mulur statis untuk konstruksi-konstruksi yang mendapat pembebanan yang kompleks dengan mempergunakan teori tentang energi distorsi. Kekuatan luluh lebih peka dari pada kekuatan tarik maksimum terhadap perubahan-perubahan dalam perlakuan panas dan cara-cara pengujian.

II.5.3 Perpanjangan

Perpanjangan adalah perbandingan antara pertambahan panjang seluruhnya yang diukur pada batang uji yang patah terhadap panjang semula dari batang uji. Perpanjangan pada umumnya dinyatakan dalam persen, sehingga perumusannya adalah ⁽⁸⁾:

$$e = \frac{L_a - L_0}{L_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2-20)$$

dimana :

e = perpanjangan (%)

L_a = panjang batang sesudah pengujian (cm)

L_0 = panjang semula dari batang uji (cm)

Pertambahan panjang batang uji dianggap merata pada seluruh panjang batang sampai dengan tercapainya beban maksimum. Setelah melampaui beban maksimum maka akan terjadi pengecilan setempat pada batang uji. Perpanjangan ini sangat penting untuk melihat kemampuan logam untuk berubah bentuknya.

II.6 Kekerasan

Kekerasan logam dapat diartikan sebagai ukuran ketahanan logam terhadap deformasi plastis. Angka kekerasan bahan didefinisikan sebagai beban terpasang dibagi dengan luas permukaan jejak yang ditimbulkan oleh beban tersebut. Kekerasan dari logam diukur dengan menekan indenter ke pada permukaan logam dengan bahan tertentu. Bahan indenter, biasanya berbentuk bola, piramid, atau kerucut yang terbuat dari bahan yang jauh lebih keras dari bahan yang diuji. Baja keras, tungsten carbide, atau intan sering digunakan untuk bahan indenter.

Kekerasan dari logam tergantung pada kemudahan logam mengalami deformasi plastis. Kemudian hubungan antara kekuatan dan kekerasan untuk logam tertentu dapat dihitung.

Jenis-jenis pengujian kekerasan yaitu Brinell, Rockwell, Vickers, dan Knoop. Harga kekerasan pada setiap cara pengujian tergantung pada bentuk dari indenter dan beban yang diberikan.

Angka kekerasan knoop (Knoop Hardness Number) didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan. Indenter pada alat uji kekerasan knoop mempunyai sudut vertikal $172,5^{\circ}$ dan 130° . Pada prakteknya, luas ini diihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak bekas indentasi. Kemudian angka kekerasannya diihitung dengan persamaan⁽⁶⁾:

$$KHN = \frac{14,23 P}{d^2} \dots\dots\dots(2-21)$$

dimana :

P = beban yang diterapkan (gf)

d = panjang diagonal bekas penekanan (μm)