BAB II
LANDASAN TEORI

2.1 Baja karbon

Baja karbon adalah paduan antara Fe dan C dengan kadar C sampai 2,14%. Sifat-sifat mekanik baja karbon tergantung dari kadar C yang dikandungnya. Setiap baja termasuk baja karbon sebenarnya adalah paduan multi komponen yang disamping Fe selalu mengandung unsur-unsur lain seperti Mn, Si, S, P, N, H, yang dapat mempengaruhi sifat-sifatnya. Baja karbon dapat diklasifikasikan menjadi tiga bagian menurut kadar karbon yang dikandungnya, yaitu baja karbon rendah dengan kadar karbon kurang dari 0,25 %, baja karbon sedang mengandung 0,25 – 0,6 % karbon, dan baja karbon tinggi mengandung 0,6 – 1,4 % karbon.

2.1.1 Baja Karbon rendah

Baja karbon rendah mengandung kurang dari 0,5 % karbon. Kebanyakan dari produk baja ini berbentuk pelat hasil pembentukan roll dingin dan proses anneal. Kandungan karbonnya yang rendah dan mikrostrukturnya yang terdiri dari fasa ferit dan pearlit menjadikan baja karbon rendah bersifat lunak dan kekuatannya lemah namun keuletan dan ketangguhannya sangat baik. Baja karbon rendah kurang responsif terhadap perlakuan panas untuk mendapatkan mikrostruktur martensit maka dari itu untuk meningkatkan kekuatan dari baja karbon rendah dapat dilakukan dengan proses roll dingin maupun karburisasi.

2.1.2 Baja karbon sedang

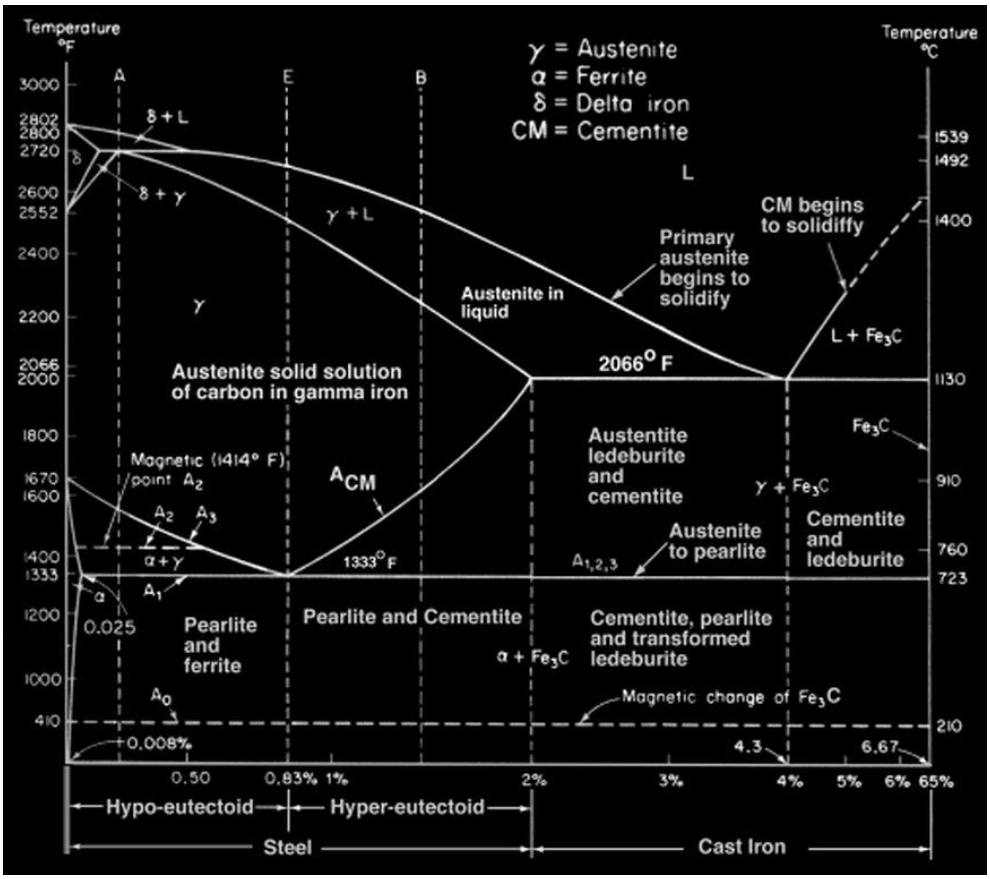
Baja ini mengandung karbon antara 0,25% – 0,60 %. Didalam perdagangan biasanya dipakai sebagai alat-alat perkakas, baut, porosengkol, roda gigi, ragum, pegas dan lain-lain.

2.1.3 Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi ialah baja yang mengandung kerbon antara 0,6% – 1,4%. Baja ini biasanya digunakan untuk keperluan alat-alat konstruksi yang berhubungan dengan panas yang tinggi.

2.2 Struktur Mikro [3]

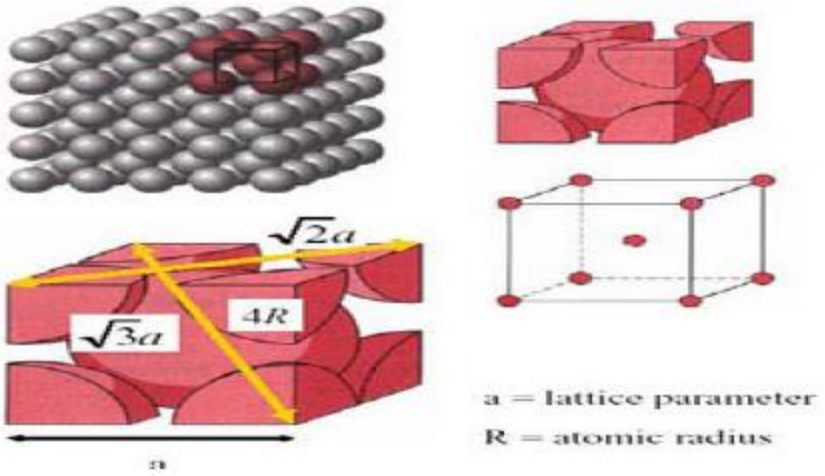
Diagram kesetimbangan fasa Fe-Fe3C adalah alat penting untuk memahami struktur mikro dan sifat-sifat baja karbon.



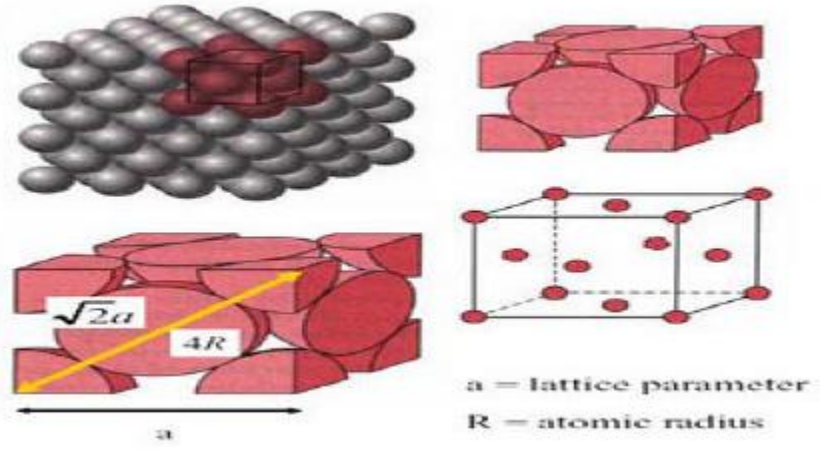
Gambar 2.1 Diagram Fasa Fe-Fe3C [5]

Karbon larut di dalam besi dalam bentuk larutan padat (solution) hingga 0,05% berat pada temperatur ruang. Baja dengan atom karbon terlarut hingga jumlah tersebut memiliki alpha ferrite pada temperatur ruang. Pada kadar karbon lebih dari 0,05% akan terbentuk endapan karbon dalam bentuk hard intermetallic stoichiometric compound (Fe3C) yang dikenal sebagai cementite atau carbide. Selain larutan padat alpha-ferrite yang dalam kesetimbangan dapat ditemukan pada temperatur ruang terdapat fase-fase penting lainnya, yaitu delta-ferrite dan gamma-austenite. Logam Fe bersifat polymorphism yaitu memiliki struktur kristal berbeda pada temperatur berbeda. Pada Fe murni, misalnya, alpha-ferrite akan berubah menjadi gamma-austenite saat dipanaskan melewati temperature 910°C.

Pada temperatur yang lebih tinggi, mendekati 1400oC gamma-austenite akan kembali berubah menjadi delta-ferrite. (Alpha dan Delta) Ferrite dalam hal ini memiliki struktur kristal BCC sedangkan (Gamma) Austenite memiliki struktur kristal FCC.



Gambar 2.2 Ilustrasi struktur kristal BCC [28]



Gambar 2.3 Ilustrasi struktur kristal BCC [28]

2.2.1 Ferrite [3]

Ferrite adalah fase larutan padat yang memiliki struktur BCC (body centered cubic). Ferrite dalam keadaan setimbang dapat ditemukan pada temperatur ruang, yaitu alpha-ferrite atau pada temperatur tinggi, yaitu

delta-ferrite. Secara umum fase ini bersifat lunak (soft), ulet (ductile), dan magnetik (magnetic) hingga temperatur tertentu, yaitu Tcurie. Kelarutan karbon di dalam fase ini relatif lebih kecil dibandingkan dengan kelarutan karbon di dalam fase larutan padat lain di dalam baja, yaitu fase Austenite. Pada temperatur ruang, kelarutan karbon di dalam alpha-ferrite hanyalah sekitar 0,05%. Berbagai jenis baja dan besi tuang dibuat dengan mengeksploitasi sifat-sifat ferrite. Baja lembaran berkadar karbon rendah dengan fase tunggal ferrite misalnya, banyak diproduksi untuk proses pembentukan logam lembaran. Dewasa ini bahkan telah dikembangkan baja berkadar karbon ultra rendah untuk karakteristik mampu bentuk yang lebih baik. Kenaikan kadar karbon secara umum akan meningkatkan sifat-sifat mekanik ferrite sebagaimana telah dibahas sebelumnya. Untuk paduan baja dengan fase tunggal ferrite, faktor lain yang berpengaruh signifikan terhadap sifat-sifat mekanik adalah ukuran butir.

2.2.2 Pearlite [3]

Pearlite adalah suatu campuran lamellar dari ferrite dan cementite. Konstituen ini terbentuk dari dekomposisi Austenite melalui reaksi eutectoid pada keadaan setimbang, di mana lapisan ferrite dan cementite terbentuk secara bergantian untuk menjaga keadaan kesetimbangan komposisi eutectoid. Pearlite memiliki struktur yang lebih keras daripada ferrite, yang terutama disebabkan oleh adanya fase cementite atau carbide dalam bentuk lamel-lamel.

2.2.3 Austenite [3]

Fase Austenite memiliki struktur atom FCC (Face Centered Cubic). Dalam keadaan setimbang fase Austenite ditemukan pada temperatur tinggi. Fase inibersifat non magnetik dan ulet (ductile) pada temperatur tinggi. Kelarutan atom karbon di dalam larutan padat Austenite lebih besar jika dibandingkan dengan kelarutan atom karbon pada fase Ferrite. Secara geometri, dapat dihitung perbandingan besarnya ruang intertisi di dalam fase Austenite (atau kristal FCC) dan fase Ferrite (atau kristal BCC).

Perbedaan ini dapat digunakan untuk menjelaskan fenomena transformasi fase pada saat pendinginan Austenite yang berlangsung secara cepat.Selain pada temperatur tinggi, Austenite pada sistem Ferrous dapat pula direkayasa agar stabil pada temperatur ruang. Elemen-elemen seperti Mangan dan Nickel misalnya dapat menurunkan laju transformasi dari gamma-austenite menjadi alpha-ferrite. Dalam jumlah tertentu elemen-elemen tersebut akan menyebabkan Austenite stabil pada temperatur ruang.

2.2.4 Cementite [3]

Cementite atau carbide dalam sistem paduan berbasis besi adalah stoichiometric inter-metallic compund Fe3C yang keras (hard) dan getas (brittle). Nama cementite berasal dari kata caementum yang berarti stone chip atau lempengan batu. Cementite sebenarnya dapat terurai menjadi bentuk yang lebih stabil yaitu Fe dan C sehingga sering disebut sebagai fase metastabil. Namun, untuk keperluan praktis, fase ini dapat dianggap sebagai fase stabil. Cementite sangat penting perannya di dalam membentuk sifat-sifat mekanik akhir baja. Cementite dapat berada di dalam sistem besi baja dalam berbagai bentuk seperti: bentuk bola (sphere), bentuk lembaran (berselang seling dengan alpha-ferrite), atau partikel-partikel carbide kecil. Bentuk, ukuran, dan distribusi karbon dapat direkayasa melalui siklus pemanasan dan pendinginan. Jarak rata-rata antar karbida, dikenal sebagai lintasan Ferrite rata-rata (Ferrite Mean Path), adalah parameter penting yang dapat menjelaskan variasi sifat-sifat besi baja. Variasi sifat luluh baja diketahui berbanding lurus dengan logaritmik lintasan ferrite rata-rata.

2.2.5 Martensite [3]

Martensite adalah mikro konstituen yang terbentuk tanpa melalui proses difusi. Konstituen ini terbentuk saat Austenite didinginkan secara sangat cepat, misalnya melalui proses quenching pada medium air. Transformasi berlangsung pada kecepatan sangat cepat, mendekati orde kecepatan suara,

sehingga tidak memungkinkan terjadi proses difusi karbon. Transformasi martensite diklasifikasikan sebagai proses transformasi tanpa difusi yang tidak tergantung waktu (diffusionless time-independent transformation). Martensite yang terbentuk berbentuk seperti jarum yang bersifat sangat keras (hard) dan getas (brittle). Fase martensite adalah fase metastabil yang akan membentuk fase yang lebih stabil apabila diberikan perlakuan panas. Martensite yang keras dan getas diduga terjadi karena proses transformasi secara mekanik (geser) akibat adanya atom karbon yang terperangkap pada struktur kristal pada saat terjadi transformasi polimorf dari FCC ke BCC. Hal ini dapat dipahami dengan membandingkan batas kelarutan atom karbon di dalam FCC dan BCC serta ruang intertisi maksimum pada kedua struktur kristal tersebut.

2.3 Mekanisme Penguatan Logam [4]

Penguatan logam yang berdampak terhadap peningkatan sifat mekanik dapat terjadi melalui berbagai cara, antara lain dengan mekanisme pengerasan regangan (*strain hardening*), larut-padat (*solid-solution*), fasa kedua, presipitasi, dispersi, penghalusan butir dan tekstur.

2.3.1 Pengerasan regang (*strain hardening)*

Penguatan melalui mekanisme pengerasan regangan dapat terjadi terhadap semua logam akibat proses deformasi plastis yang menyebabkan terjadinya peningkatan kerapatan dislokasi. Dislokasi yang semakin rapat mengakibatkan dislokasi itu sendiri semakin sukar bergerak sehingga bahan menjadi semakin kuat atau keras.

2.3.2 Larut padat (*solid solution strengthening)*

Penguatan melalui mekanisme larut-padat terjadi akibat adanya atom-atom asing yang larut-padat baik secara substitusi maupun interstisi. Atom asing yang larut-padat tersebut dapat berupa unsur pemadu dalam bentuk paduan maupun inklusi berupa atom pengotor. Kelarutan atom-atom asing ini dalam bentuk larut-padat mengakibatkan timbulnya medan tegangan yang

berdampak terhadap pergerakan dislokasi. Pergerakan dislokasi semakin sukar dengan timbulnya medan tegangan sehingga mengakibatkan logam menjadi lebih kuat atau keras.

2.3.3 Fasa Kedua

Penguatan atau pengerasan dapat pula terjadi melalui mekanisme fasa kedua karena timbulnya senyawa fasa paduan. Pembentukan senyawa fasa kedua dalam paduan terjadi karena penambahan unsur paduan yang melampaui batas larut-padat. Senyawa fasa yang terbentuk bersifat relatif keras dan pergerakan dislokasi cenderung akan terhambat oleh fasa kedua tersebut. Pergerakan dislokasi yang terhambat oleh senyawa fasa kedua akan memperkuat dan memperkeras logam.

2.3.4 Presipitasi (*precipitate strengthening)*

Pengerasan logam dapat juga ditingkatkan dengan proses presipitasi yaitu pengerasan melalui partikel endapan fasa kedua yang halus dan menyebar. Distribusi presipitat dalam bentuk partikel endapan fasa kedua ini menimbulkan tegangan dalam (*internal stress*). Tegangan yang ditimbulkan semakin besar sehingga mengakibatkan semakin meningkatnya kekuatan atau kekerasan. Pengerasan presipitasi ini terjadi melalui proses perlakuan panas, *quenching* dan *aging*. Paduan logam dalam bentuk dua fasa atau lebih dipanaskan pada suhu tertentu sehingga senyawa fasa tersebut akan larut-padat dalam satu fasa yang relatif homogen. Fasa yang relatif homogen tersebut kemudian didinginkan secara cepat sehingga membentuk fasa larut-padat super jenuh. Fasa larut-padat super jenuh tersebut kemudian mengalami *aging* sehingga terbentuk presipitat berupa partikel endapan fasa kedua yang halus dan tersebar merata yang mengakibatkan bahan menjadi keras. Pengerasan presipitasi ini akan menurun kekuatannya bila mengalami suhu *overaging*.

2.3.5 Dispersi (*dispersion strengthening)*

Penguatan logam tanpa pengaruh suhu *overaging* dapat dilakukan dengan metode dispersi. Pengerasan dispersi merupakan pengerasan melalui proses memasukkan partikel-partikel dispersi dalam bentuk serbuk yang tercampur secara homogen. Partikel dispersi yang digunakan merupakan partikel yang sama sekali tidak larut dalam matriknya. Campuran serbuk logam tersebut dikenai proses kompaksi dan *sintering* dengan suhu pemanasan sampai mendekati titik cair logam matrik sehingga mengakibatkan terjadi ikatan yang kuat. Partikel dispersi tersebut merupakan rintangan bagi gerakan dislokasi dan semakin banyak partikel akan semakin banyak terjadinya dislokasi. Dislokasi yang semakin banyak mengakibatkan dislokasi semakin rapat dan semakin sulit bergerak sehingga bahan akan semakin keras.

2.3.6 Penguatan besar butir (*grain boundary strengthening)*

Penguatan dengan cara penghalusan butir (*grain refining*) terjadi melalui struktur butir. Butir logam merupakan kumpulan sel-satuan yang berorientasi sama. Polikristal memiliki butir-butir yang orientasinya berbeda satu dengan yang lain. Pada saat deformasi terjadi, dislokasi akan bergerak pada bidang *slip* dan berusaha mencapai permukaan luar. Oleh karena orientasi setiap butir berbeda dengan yang lain, orientasi bidang *slip* pada butir-butir juga akan berbeda-beda. Sebagai akibatnya pergerakan dislokasi akan terhambat. Gerakan dislokasi yang akan menyeberangi batas butir memerlukan tegangan yang lebih besar sehingga dengan demikian batas butir akan menjadi penghalang dan penghambat gerakan dislokasi. Struktur butir memiliki batas-batas butir yang merupakan rintangan bagi pergerakan dislokasi. Butir yang semakin halus cenderung akan semakin memperbanyak batas butir. Batas butir yang banyak akan mengakibatkan gerakan dislokasi semakin sukar karena semakin banyak rintangan. Penghalusan butir dapat dilakukan melalui proses pembekuan dan proses rekristalisasi. Penguatan tekstur merupakan peningkatan kekuatan atau kekerasan melalui orientasi kristal. Logam

yang ditingkatkan kekuatannya diusahakan kristalnya memiliki orientasi tertentu. Pembentukan kristal logam agar sel-satuan memiliki orientasi yang mendekati arah tertentu dapat dilakukan dengan cara deformasi plastis, seperti dengan proses pengerolan.

2.4 Proses termomekanik (TMCP)

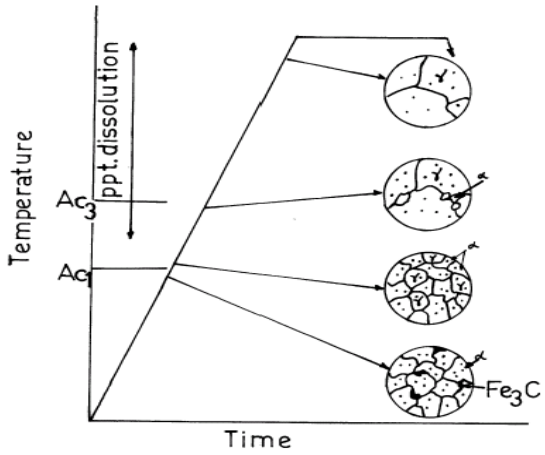
Proses termomekanik adalah teknik perlakuan logam yang didesain untuk meningkatkan kekerasan dan ketangguhan dengan mekanisme penghalusan butir dengan proses deformasi yang terkontrol.

Secara umum, proses termomekanik terdiri dari proses pemanasan awal, pengerjaan panas dan pendinginan. [9]

2.4.1 Pemanasan awal *(Reheating)*

Pada proses pemanasan awal *(Reheating)* pelat baja dipanaskan hingga temperatur austenit dengan tujuan antara lain untuk melarutkan berbagai paduan yang terdapat dalam baja, dan untuk mencapai besar austenit yang optimum, sehingga dapat mencapai kekuatan baja yang optimum setelah pengerjaan panas. Proses pemanasan awal ini sangat penting dalam menghasilkan sifat mekanis benda jadi karena dengan pemanasan awal dapat diprediksi mikrostruktur akhir yang terbentuk.

Selama proses pemanasan awal (*reheating*) untuk baja karbon rendah pada temperatur di bawah Ac_1, strukturnya adalah ferit dan perlit. Semakin tinggi temperatur melewati Ac_1, dibawah Ac_3 terjadi transformasi perlit menjadi austenit. Sehingga pada daerah tersebut fasa yang ada adalah austenit dan ferit. Pada temperatur di atas Ac_3, seluruh struktur mikro baja bertransformasi menjadi austenit. Hal ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini



Gambar 2.4. Pengaruh proses reheating pada perubahan struktur mikro baja

2.4.2 Pengerolan [6]

Pengerolan merupakan proses pembentukan material untuk mengurangi ketebalan suatu material dengan cara memberikan gaya dengan bantuan roll. Umumnya material yang dilakukan dengan proses pengerolan adalah berupa plat datar dan lembaran. Pengerolan dibagi menjadi dua yaitu Pengerolan Panas dan Pengerolan Dingin.

2.4.2.1 Proses pengerolan panas [7]

Proses pengerolam panas didefinisikan sebagai proses pembentukan yang dilakukan pada daerah temperatur rekristalisasi logam. Dalam proses deformasi pada temperatur tinggi terjadi pelunakan yang terus menerus akibat terjadinya rekristalisasi. Karena sifat lunak dan ulet material sehingga gaya pembentukan yang dibutuhkan relatif kecil, serta benda kerja mampu menerima perubahan bentuk yang besar tanpa retak. Karena alasan itulah pengerolan panas digunakan pada proses pembentukan primer yang dapat memberikan deformasi yang besar.

2.4.2.2 Proses pengerolan dingin [7]

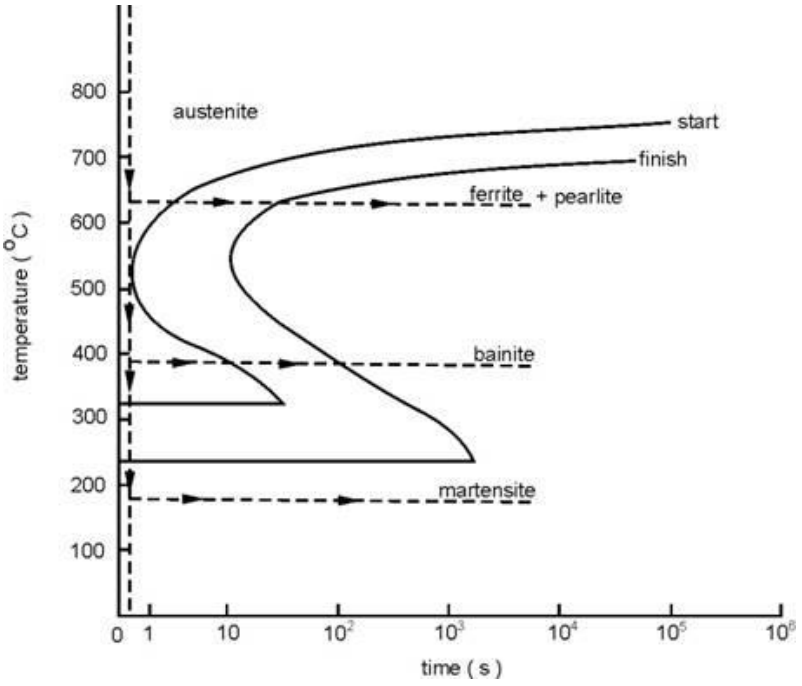
Proses pengerolan dingin adalah proses pembentukan yang dilakukan dibawah temperatur rekristalisasi. Pada kondisi ini logam yang

dideformasi mengalami pengerasan regangan (strain hardening). Logam bersifat makin keras dan kuat tetapi semakin getas.

2.4.3 Pendinginan [8]

2.4.3.1 Pendinginan Tidak Kontinyu

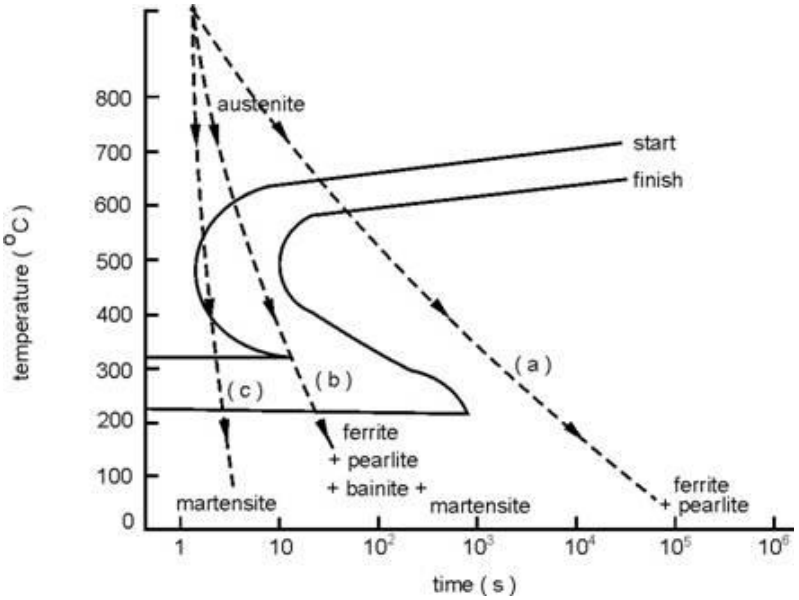
Jika suatu baja didinginkan dari suhu yang lebih tinggi dan kemudian ditahan pada suhu yang lebih rendah selama waktu tertentu, maka akan menghasilkan struktur mikro yang berbeda. Hal ini dapat dilihat pada diagram dibawah ini.



Gambar 2.5 *Isothermal Tranformation Diagram* [8]

2.4.3.2 Pendinginan Kontinyu

Dalam prakteknya proses pendinginan pada pembuatan material baja dilakukan secara menerus mulai dari suhu yang lebih tinggi sampai dengan suhu rendah. Pengaruh kecepatan pendinginan kontinyu terhadap struktur mikro yang terbentuk dapat dilihat dari *Continuous Cooling Transformation Diagram.*



Gambar 2.6 *Continuous Cooling Transformation Diagram* [8]

2.5 Recovery, Rekristalisasi dan Pertumbuhan Butir

Perubahan perubahan yang terjadi setelah proses pemanasan terbagi menjadi tiga yaitu :

2.5.1 *Recovery*

Recovery adalah pelepasan energi regangan didalam bahan kerena gerakan dislokasi (karena gaya yang diberikan) disebabkan oleh difusi atom yang meningkat pada temperatur yang lebih tinggi. Sebagian energi regangan dilepaskan dan jumlah diskolasi turun, konduktivitas listrik dan thermal menjadi lebih baik seperti keadaan sebelum dilakukan pengerjaan dingin. Pada tahapan ini belum terjadi perubahan sifat mekanik maupun struktur mikro.

2.5.2 Rekristalisasi

Walaupun recovery telah selesai, butir masih memiliki energi regangan yang tinggi. Rekristalisasi adalah pembentukan butiran ”equiaxed” (bulat) baru yang bebas dari energi regangan dan mempunyai kerapatan diskolasi rendah. karakteristiknya seperti kondisi sebelum dilakukan pengerjaan dingin gaya penggerakan terbentuknya butir baru adalah karena perbedaan

energi dalam antara material yang bebas energi regangan dengan yang mempunyai energi regangan.

2.5.3 Pertumbuhan butir

Pertumbuhan butir merupakan lanjutan dari proses *recovery* dan rekristalisasi. Setelah rekristalisasi selesai, butir yang terbentuk akan terus tumbuh atau membesar jika temperatur logam tetap dijaga, fenomena ini disebut pertumbuhan butir. Pertumbuhan butir terjadi karena berpindahnya batas butir. Tidak semua butir menjadi besar, tetapi butir besar tumbuh seiring dengan menghilangnya butir lebih kecil.

2.6 Pengujian Tarik

2.6.1 Hukum Hooke [10]

Uji tarik adalah cara pengujian bahan yang paling mendasar. Pengujian ini sesuai standar ASTM E8. Pada tahap sangat awal dari uji tarik, hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut. Ini disebut daerah linier atau *linear zone*. Di daerah ini, kurva pertambahan panjang vs beban mengikuti aturan Hooke sebagai berikut:

"rasio tegangan (stress) dan regangan (strain) adalah konstan"

Stress adalah beban dibagi luas penampang bahan

strain adalah pertambahan panjang dibagi panjang awal bahan.

$$\sigma = F/A \qquad (2.1)$$

Dimana,

σ : Tegangan (N/m^2)

F : gaya tarik (N)

A: luas penampang (mm^2)

$$\varepsilon = \Delta L/Lo \qquad (2.2)$$

Dimana,

ε : regangan

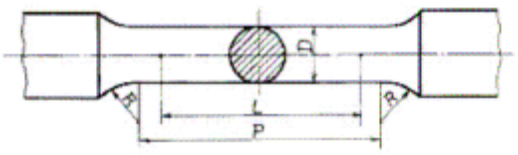
L : pertambahan panjang (mm)

L : panjang awal (mm)

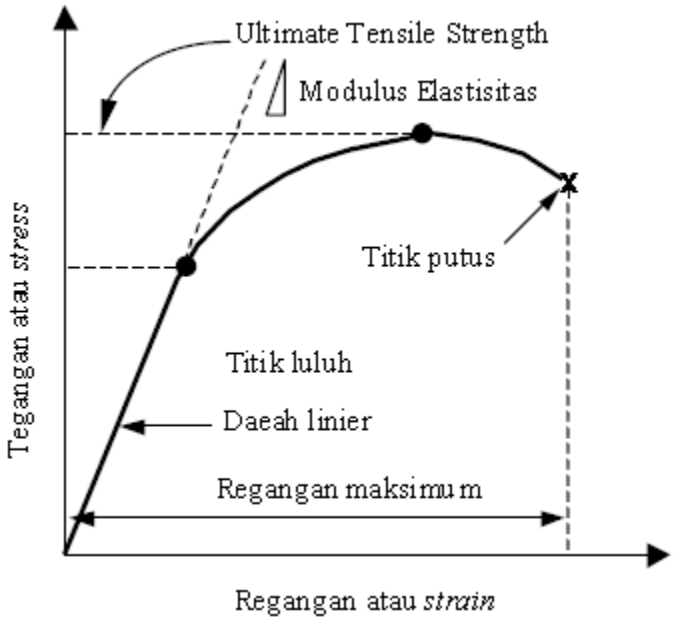
Hubungan antara tegangan dan regangan dirumuskan:

$$E = \sigma / \varepsilon \qquad (2.3)$$

Gambar 2.8 merupakan kurva standar ketika melakukan eksperimen uji tarik. *E* adalah gradien kurva dalam daerah linier, di mana perbandingan tegangan (σ) dan regangan (ε) selalu tetap. ***E*** diberi nama *"Modulus Elastisitas"* atau *"Young Modulus"*. Kurva yang menyatakan hubungan antara tegangan dan regangan seperti ini kerap disingkat kurva Stress-Strain.

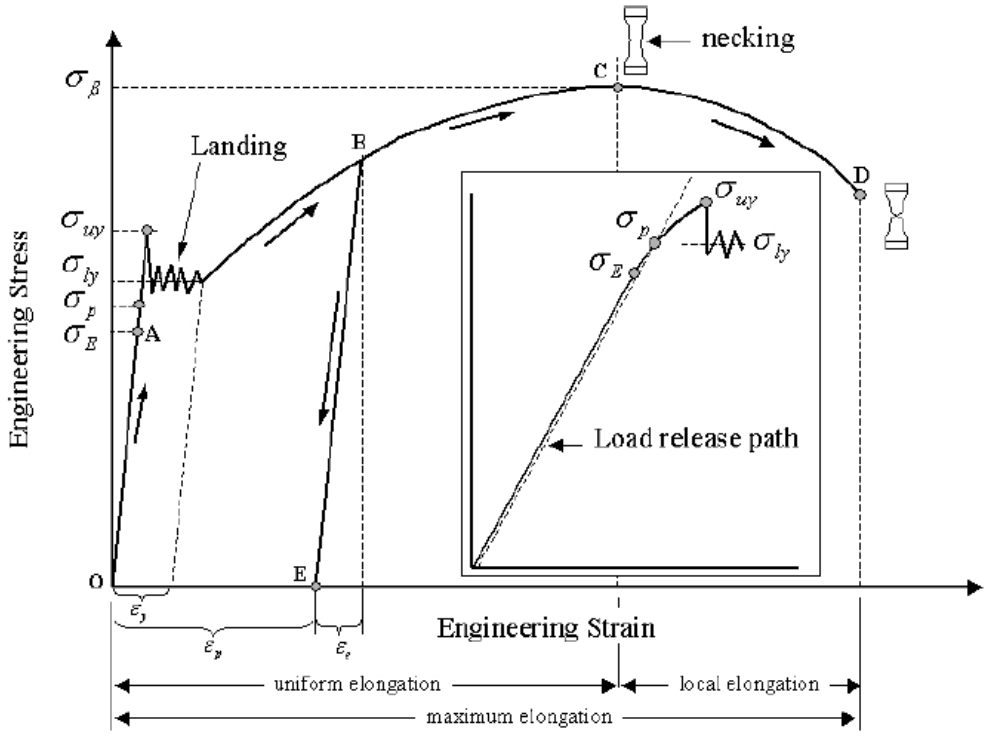


Gambar 2.7 Ilustrasi sampel uji tarik [10]



Gambar 2.8 Profil data hasil uji tarik [10]

2.6.2 Detail profil uji tarik dan sifat mekanik logam [10]



Gambar 2.9 Profil data hasil uji tarik tegangan vs regangan [10]

- Batas elastis σ_E (*elastic limit*)

  Dalam gambar 2.9 dinyatakan dengan titik A. Bila sebuah bahan diberi beban sampai pada titik A, kemudian bebannya dihilangkan, maka bahan tersebut akan kembali ke kondisi semula (tepatnya *hampir kembali ke kondisi semula*) yaitu regangan "nol" pada titik O. Tetapi bila beban ditarik sampai melewati titik A, hukum Hooke tidak lagi berlaku dan terdapat perubahan permanen dari bahan. Terdapat konvensi batas regangan permamen (*permanent strain*) sehingga masih disebut perubahan elastis yaitu kurang dari 0.03%, tetapi sebagian referensi menyebutkan 0.005% . Tidak ada standarisasi yang universal mengenai nilai ini.

- Batas proporsional σ_p (*proportional limit*)

  Titik sampai di mana penerapan hukum Hook masih bisa ditolerir. Tidak ada standarisasi tentang nilai ini.

- Deformasi plastis (*plastic deformation*)

  Yaitu perubahan bentuk yang tidak kembali ke keadaan semula. Pada gambar 2.9 yaitu bila bahan ditarik sampai melewati batas proporsional dan mencapai daerah *landing*.

- Tegangan luluh atas σ_{uy} (*upper yield stress*)

  Tegangan maksimum sebelum bahan memasuki fase daerah landing peralihan deformasi elastis ke plastis.

- Tegangan luluh bawah σ_{ly} (*lower yield stress*)

  Tegangan rata-rata daerah *landing* sebelum benar-benar memasuki fase deformasi plastis. Bila hanya disebutkan tegangan luluh (*yield stress*), maka yang dimaksud adalah tegangan ini.

- Regangan luluh ε_y (*yield strain*)

  Regangan permanen saat bahan akan memasuki fase deformasi plastis.

- Regangan elastis ε_e (*elastic strain*)

  Regangan yang diakibatkan perubahan elastis bahan. Pada saat beban dilepaskan regangan ini akan kembali ke posisi semula.

- Regangan plastis ε_p (*plastic strain*)

  Regangan yang diakibatkan perubahan plastis. Pada saat beban dilepaskan regangan ini tetap tinggal sebagai perubahan permanen bahan.

- Regangan total (*total strain*)

  Merupakan gabungan regangan plastis dan regangan elastis, $\varepsilon_T = \varepsilon_e + \varepsilon_p$. Perhatikan beban dengan arah OABE. Pada titik B, regangan yang ada adalah regangan total. Ketika beban dilepaskan, posisi regangan ada pada titik E dan besar regangan yang tinggal (OE) adalah regangan plastis.

- Tegangan tarik maksimum *(UTS, ultimate tensile strength)*

  Pada gambar 2.9 ditunjukkan dengan titik C (σβ), merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.

- Kekuatan patah *(breaking strength)*

  Pada gambar 2.9 ditunjukkan dengan titik D, merupakan besar tegangan di mana bahan yang diuji putus atau patah.

2.7 Korosi [11]

Korosi adalah perusakan logam karena adanya reaksi kimia atau elektro kimia atara logam dengan lingkungannya. Adapun lingkungan yang dimaksud adalah dapat berupa larutan asam, air dan uap yang masing masing mempunyai daya hantar listrik yang berbeda beda. Perusakan logam yang dimaksud adalah berkurangnya nilai logam baik dari segi ekonomis, maupun teknis.

2.7.1 Korosi berdasarkan prinsip polarisasi [30, 31]

Polarisasi atau penyimpangan dari potensial kesetimbangan sama dengan polarisasi anoda pada logam dan polarisasi katoda pada lingkungannya.

Kinetika elektrokimia pada metal yang terkorosi dapat dikarakteristikan dengan tiga parameter polarisasi yaitu corrosion current density (icorr), Corrosion potential (Ecorr), dan tafel slopes (ßa atau ßc). Kemudian perilaku korosi ditampilkan dengan kurva polarisasi (E vs Log i).

2.7.2 Korosi di lingkungan NaCl [11]

Natrium klorida dalam bentuk kristal yang dimasukkan kedalam air akan mengalami peristiwa pelarutan. Peristiwa melarutnya NaCl kristal ini selalu disertai dengan penurunan suhu. Penurunan suhu yang terjadi pada saat melarutnya kristal NaCl dan air akan mengakibatkan suatu reaksi antar molekul-molekulnya. Didalam air, natrium klorida dalam bentuk kristal akan pecah menjadi pertikel-partikel kecil dan kemudian akan ditarik oleh molekul-molekul air. Setelah molekul-molekul NaCl dan molekul air bereaksi dan bergabung jadi satu, pada seluruh larutan terdapat

molekul air dan molekul NaCl yang sudah berikatan dalam jumlah yang seragam dan tak dapat dibedakan.

NaCl didalam air ditarik oleh molekul-molekul air sehingga menjadi ion Na+ dan Cl-. Air memiliki daya meng- ion terhadap molekul NaCl. Oleh karena itu, maka natrium klorida dalam air membentuk larutan yang dapat menghantar listrik.

$NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-$

Ion-ion yang terbentuk dari peristiwa terurainya Na+ dan Cl- ini disebut disosiasi elektrolis. Ion-ion yang terbentuk mampu bergerak bebas dalam larutan dan dimungkinkan ion-ion inilah yang menghantarkan listrik.

Kecepatan reaksi kimia dalam suatu larutan yang umum terjadi, sangat dipengaruhi oleh konsentrasi dari zat-zat yang bereaksi (reaktan). Secara umum reaksi kimia akan berlangsung lebih cepat jika konsentrasi pereaksi diperbesar. Larutan yang mengandung klorida akan memberikan efek korosif yang sangat agresif pada logam. Sifat dari ion klorida adalah sangat kuat dalam mencegah terjadinya proses pasifasi pada logam berada di dalam lingkungan yang mengandung klorida akan terurai dengan cepat dalam larutan yang mengandung klorida. Ion klorida akan terabsorbsi ke permukaan logam yang akan menyebabkan ikatan antara oksida-oksida logam yang berikatan akan tersaingi akibat masuknya ion ini ke dalam sela-sela ikatannya, sehingga akan memperlemah struktur ikatan logam yang bersangkutan.

Ion klorida selain akan mencegah proses pasifasi juga akan mencegah proses pengendapan lapisan oksida pelindung dengan membentuk zat cair kompleks yang mengandung ion ferrit. Dengan demikian, jika suatu logam berada pada lingkungan yang mengandung klorida, akan menyebabkan terjadinya proses depasifasi (tidak berlangsungnya proses pasifasi pada logam yang terkorosi), sehingga akan menimbulkan proses korosi pada logam terus berlanjut.

Larutan natrium klorida adalah larutan yang terbentuk dengan suatu proses awal melarutnya garam natrium klorida dalam bentuk padat ke dalam pelarut air. Jika garam ini dilarutkan ke dalam air, maka akan terurai

menjadi ion-ion natrium dan klorida yang dapat bergerak dalam larutan dan menghantarkan listrik. Jika logam dalam lingkungan seperti ini, maka ion klorida akan yang telah terurai tadi akan terabsorbsi ke permukaan logam dan menghentikan proses pasifasi serta mencegah terjadinya pengendapan lapisan oksida pelindung. Sementara itu, natrium yang juga telah terurai sebagian juga akan mengendap di dalam larutan, sebagian terus bergerak menghantar listrik dan ada sebagian yang menguap dan tidak terlalu berpengaruh terhadap berlangsungnya proses korosi. Dengan berhentinya proses pasifasi ini, korosi yang terjadi pada logam tersebut dimungkinkan akan tetap terus berlangsung. Semakin tinggi konsentrasi larutan natrium klorida, semakin besar pula ion klorida yang berada di sekitar logam. Semakin besar jumlah ion klorida yang berada di sekitar logam, semakin besar pula terjadinya proses pencegahan timbulnya lapisan pelindung yang akan menimbulkan depasifasi pada permukaan logam. Dengan demikian, secara singkat dapat dikatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan natrium klorida, akan semakin besar pula dalam mempercepat laju korosi yang berlangsung pada suatu logam.

2.7.3 Pengaruh hidrogen terhadap material

2.7.3.1 Mekanisme masuknya hidrogen [12]

Secara umum mekanisme masuknya hidrogen pada permukaan logam dapat dibedakan menjadi tiga :

2.7.3.1.1 Mekanisme Volmer – Tafel

Pada mekanisme ini reaksi yang terjadi pertama kali adalah reaksi reduksi dari ion membentuk atom hidrogen yang akan masuk ke dalam logam dan kemudian berekomendasi dengan atom hidrogen lainnya membentuk molekul gas hidrogen.

Reaksinya dapat ditulis :

$H^{+}_{hydrated} + e^{-} \longleftrightarrow H_{adsorbed}$ Reaksi Volmer

$H_{adsorbed} + H_{adsorbed} \longleftrightarrow H_2$ Reaksi Tafel

Konsentrasi dari atom hidrogen yang berada dipermukaan logam sebanding dengan nilai derajat penyebarannya, dimana derajat

penyebaran akan sebanding dengan perubahan densitas arus pada reaksi Volmer – Tafel.

2.7.3.1.2 Mekanisme Volmer – Heyrovsky

Mekanisme ini menjelaskan mengenai reduksi elektrokimia yang disertai dengan reaksi rekombinasi.

$H^+_{hydrated} + e^- \longleftrightarrow H_{adsorbed}$ Reaksi Volmer

$H^+_{hydrated} + H^+_{hydrated} + e- \longleftrightarrow H_2$ Reaksi Heyrovsky

Reaksi Heyrovsky merupakan rekasi yang terdiri dari reduksi kation *hydrogen hydrated* dengan atom hidrogen yang terdapat pada permukaan logam untuk membentuk molekul gas hidrogen.

2.7.3.1.3 Mekanisme transfer ion hidrogen

Mekanisme ini menjelaskan hidrogen yang masuk ke dalam lattice logam berasal dari ion hidrogen. Konsentrasi hidrogen yang masuk ke dalam subsurface sebanding dengan konsentrasi ion H^+ yang masuk melalui interface. Mekanismenya adalah sebagai berikut :

$H^+_{hydrated} \longleftrightarrow H^+$ metal

Atom hidrogen juga dapat berasal dari disosiasi air atau dari senyawa lain. Khusus untuk ion HS^- akan menjadi katalis bagi reaksi difusi hidrogen untuk masuk ke dalam lattice logam dan dapat mencegah terjadinya rekomendasi hidrogen di permukaan logam.

$H^+_{hydrated} + HS^-_{adsorbed} \longleftrightarrow H2S_{adsorbed}$

$H2S_{adsorbed} \longleftrightarrow HS^-_{adsorbed} + H^+$

2.7.3.2 Tipe Kerusakan akibat hidrogen [12]

Akibat dari masuknya hidrogen pada permukaan logam maka akan terjadi berbagai kerusakan yang meliputi peurunan sifat mekanis logam terutama ketangguhan, keuletan, dan kekuatan tarik.

Kerusakan ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor meliputi :

- Bentuk dari hidrogen yang dapat menimbulkan kerusakan pada permukaan logam seperti H, dan H_2.

- Hidrogen yang berasal dari proses elektrokimia, gas hidrogen pada atmosfer, H_2S dan lainnya.

2.7.3.2.1 Hydrogen Embrittlement [29]

Penggetasan hidrogen adalah suatu proses hilangnya keuletan baja dengan terserapnya hidrogen ke dalam struktur material baja. Kekuatan tarik tidak terpengaruh secara nyata. Keuletan ini dapat dikembalikan melalui perlakuan panas. Kerusakan hidrogen menggambarkan pelemahan baja secara permanen karena berkembangnya retak-retak mikro (micro fissures). Retak yang disebabkan oleh kerusakan hidrogen biasanya terjadi di sepanjang batas butir, karenanya berbeda dengan retak dingin akibat kemasukan hidrogen yang biasanya bersifat transgranular. Di dalam material baja, atom-atom hidrogen ini bergabung menjadi molekul (H_2) dan menyebabkan terjadinya regangan lokal yang hebat. Jika baja cukup ductile maka kemungkinan dapat bertahan terhadap regangan lokal ini. Namun jika baja getas dan keras, maka akan terjadi retak-retak halus, yang kemudian menjadi besar dan mengakibatkan kegagalan material.

2.7.3.2.2 Hydrogen Damage [29]

Kerusakan hidrogen di dalam material baja terjadi akibat atom-atom hidrogen ini bergabung menjadi molekul (H_2) dan menyebabkan terjadinya regangan lokal. Jika kemudian gas H_2 terperangkap di dalam cacat material seperti inklusi, laminasi maka gas hidrogen lama kelamaan berkumpul dan menaikkan tekanan di lokasi tersebut. Karena besarnya tekanan menyebabkan gelembung atau blister. Hal ini tidak terjadi pada suhu yang tidak terlalu tinggi dan pada daerah yang dekat dengan permukaan.