

BAB II

TINJAUN PUSTAKA

www.itk.ac.id

Pada bab II kajian pustaka dan dasar teori ini dijelaskan mengenai keterkaitan beberapa referensi dengan penelitian yang akan dilaksanakan. Bab II ini meliputi beberapa aspek bahasan, diantaranya: Baja karbon, Klasifikasi baja, Pengaruh unsur campuran dalam baja, Baja St.41, CCT (*Continuous cooling temperature*), TTT (*Time temperature transformation*), *Heat treatment* (Perlakuan panas), Pendinginan, *Holding time* (Waktu penahanan), *Carburizing*, *Pack carburizing*, Karbon aktif, Difusi atom, Karakterisasi material, Pengujian (Kekerasan, metalografi dan spektrometer) dan Penelitian terlebih dahulu.

2.1 Baja Karbon

Besi (*ferrous*) merupakan salah satu logam yang sangat banyak digunakan pada berbagai bidang hingga saat ini. Besi memiliki nilai ekonomis, mempunyai sifat yang bervariasi, dapat diolah atau dibentuk sesuai keinginan dengan aplikasi yang luas.

Baja merupakan paduan dari besi dan unsur-unsur lain dengan kandungan karbon kurang dari 2%. Baja karbon perpaduan antara besi dan karbon, dimana penambahan karbon dapat menentukan nilai kekerasan dan keuletan baja karbon. Baja karbon dikelompokkan menjadi tiga sesuai dengan komposisi kimianya yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi.

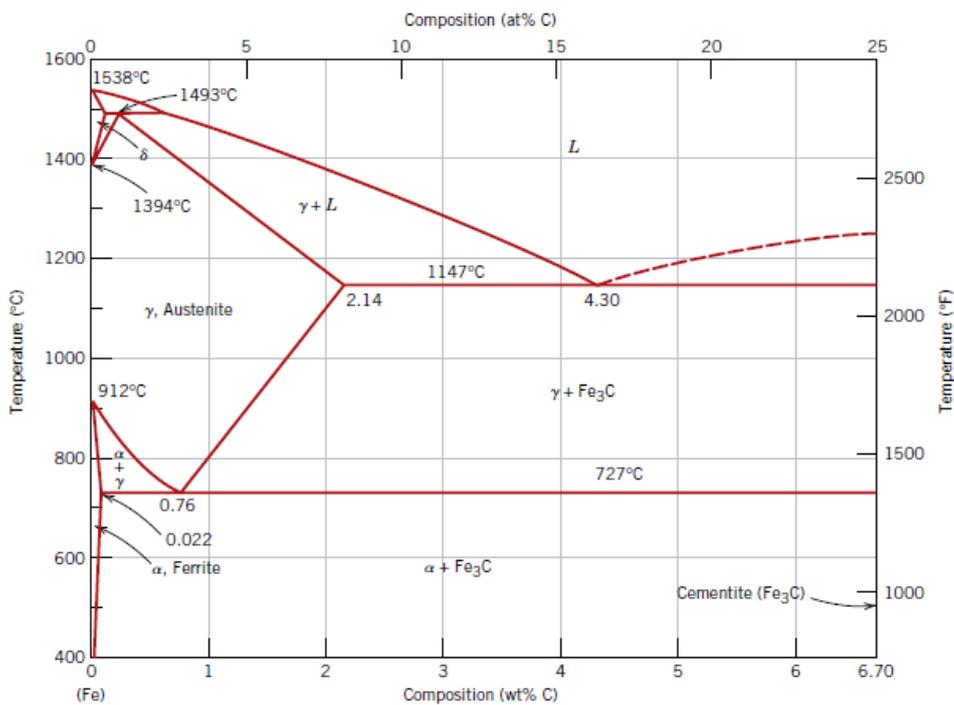
Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon dibawah 0,3%. Baja karbon rendah sering disebut dengan baja ringan (*mild steel*) atau baja perkakas. Jenis baja yang umum dan banyak digunakan adalah jenis *cold roll steel* dengan kandungan karbon 0,08%–0,30% yang biasa digunakan untuk *body* kendaraan (Sack, 1997).

Baja karbon sedang merupakan baja yang memiliki kandungan karbon 0,30%-0,60%. Baja karbon sedang mempunyai kekuatan yang lebih dari baja karbon rendah dan mempunyai kualitas perlakuan panas yang tinggi. Baja karbon sedang bisa di las dengan las busur listrik elektroda terlindung dan proses

pengelasan yang lain. Untuk hasil yang terbaik maka dilakukan pemanasan mula sebelum pengelasan dan *normalizing* setelah pengelasan (Sack, 1997).

Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon paling tinggi jika dibandingkan dengan baja karbon yang lain yakni 0,60% - 1,7%. Kebanyakan baja karbon tinggi sukar untuk dilas jika dibandingkan dengan baja karbon rendah dan sedang (Sack, 1997).

Pada gambar 2.1 menunjukkan diagram fasa Fe-Fe₃C. Pada diagram dengan komposisi karbon di bawah 2% menjadi fokus utama untuk dilakukan proses *heat treatment*. Diagram fasa hanya berlaku untuk perlakuan panas pada baja hingga mencair dengan proses pendinginan secara perlahan-lahan sedangkan pada proses pendinginan cepat, menggunakan diagram CCT (*Continuous Cooling Temperature*).



Gambar 2.1 Diagram fasa Fe-Fe₃C (Callister, 2014)

Fasa yang terdapat pada diagram fasa Fe-Fe₃C sebagai berikut:

1. Austenit atau Besi Austenit merupakan larutan pada sela antara karbon dan besi dengan struktur FCC, dan mampu melarutkan maksimum 2% karbon secara intersitas pada temperatur 1129°C dalam bentuk larutan padat, austenit bersifat liat dan lunak.

2. Ferit adalah besi dengan struktur FCC yang mampu melarutkan 0,008% C pada temperatur kamar dan maksimal 0,025% C pada temperatur 723°C. Ferit membentuk larutan padat interstisi dengan karbon pada luasan yang sempit dengan struktur yang paling luas.

3. Perlit merupakan campuran eutektoid dengan kandungan 0,8% karbon yang tampak tersusun berlapis-lapis secara bergantian dari ferit dan sementit. Oleh karena itu perlit mempunyai sifat antara ferit dan sementit yaitu cukup kuat dan tahan terhadap korosi. Perlit terbentuk pada suhu 723°C, dimana pada saat pendinginan 0,8% karbon akan menghasilkan 100% perlit pada komposisi *eutectoid*. Bila laju pendinginan lambat maka karbon dapat berdifusi lama sehingga terbentuk perlit kasar, sedangkan bila laju pendinginan dipercepat maka akan terbentuk perlit halus.

4. Sementit atau karbida besi adalah senyawa kimia antara besi dengan karbon dengan kandungan karbon sebanyak 6,67% karbida besi (Fe_3C) menyatakan bahwa tiga atom besi terikat oleh salah satu atom karbon yang menjadi sebuah karbida besi. Sementit memberikan kekerasan yang tinggi pada baja.

5. Struktur martensit terbentuk karena adanya pemanasan kemudian didinginkan dengan cepat (*quenching*) yang terbentuk dibawah *temperature eutectoid* tetapi masih dibawah temperatur tuang, karena austenit tidak stabil pada pendinginan di atas, sehingga terjadi secara serentak strukturnya berubah menjadi kubus pusat ruang tetragonal (BCT). Pada keadaan ini tidak terjadi difusi melainkan pengerasan sebab semua atom karbon tetap tertinggal dalam lapisan padat karena strukturnya tidak berbentuk kubus maka karbon terperangkap sehingga sulit terjadi slip sehingga dalam hal ini martensit mempunyai sifat keras, rapuh, dan mempunyai kekuatan tarik yang tinggi. Sifat martensit yang tidak stabil harus ditemper untuk menghilangkan tegangan dalam agar diperoleh sifat yang lebih liat dan kuat (Surdia, 1999).

2.1.1 Klasifikasi Baja

Baja karbon berdasarkan persentase kadar karbonnya dikelompokkan menjadi tiga macam (R.E Smallman, 1991):

A. Baja Karbon Rendah

Kandungan karbon pada baja ini kurang dari 0,3%. Karena kadar karbon yang rendah maka baja ini lunak dan tentu saja tidak dapat dikeraskan, dapat ditempa, dituang, mudah dilas dan dapat dikeraskan permukaannya (*case hardening*). Baja dengan presentase karbon kurang dari 0,15% memiliki sifat mudah di mesin, mampu las dan biasanya digunakan untuk konstruksi jembatan, bangunan, dan lainnya.

B. Baja Karbon Menengah

Kandungan karbon pada baja ini antara 0,3% sampai 0,7%. Baja jenis ini dapat dikeraskan dan ditempering, dapat dilas dan mudah dikerjakan pada mesin dengan baik. Baja ini dapat ditempa secara mudah tetapi susah dilas semudah baja konstruksi dan baja struktur. Penambahan kandungan karbon akan mempertinggi kekuatan tarik tetapi mengurangi kemampuan regangnya. Penggunaan baja karbon menengah ini biasanya digunakan untuk poros/as, engkol, *gear*, *crankshaft* dan *sparepart* lainnya.

C. Baja Karbon Tinggi

Kandungan karbon pada baja ini antara 0,7% sampai 1,70%. Karena kadar karbon yang tinggi maka baja ini lebih mudah dan cepat dikeraskan dari pada yang lainnya dan memiliki kekerasan yang baik, tetapi susah dibentuk pada mesin dan sangat susah untuk dilas. Baja ini memiliki kekuatan tarik, kekerasan dan ketahanan terhadap korosi lebih tinggi, tetapi kemampuan regangnya kurang. Penggunaan baja ini untuk pegas/per, rel kereta api, tali kawat baja, ban roda kereta api dan alat-alat pertanian.

2.1.2 Pengaruh Unsur Campuran Dalam Baja

Sifat baja sangat tergantung pada unsur-unsur yang terkandung dalam baja. Baja karbon biasanya mempunyai kekurangan di antaranya kekerasan baja tidak merata, sifat mekanis yang rendah, kurang tahan terhadap korosi dan lain sebagainya. Penambahan unsur campuran digunakan untuk memperbaiki sifat pada baja (Amanto dan Daryanto, 2003).

Unsur campuran dalam baja membawa pengaruh sebagai berikut:

A. Karbon (C)

Karbon memiliki sifat keras namun getas. Pengaruhnya ketika dipadukan pada logam (besi), akan meningkatkan kekuatan mekanik material berupa ketahanan deformasi yang tinggi serta kekerasan permukaan dengan memperhatikan komposisi campuran yang tepat.

B. Unsur Silika (Si)

Silika merupakan unsur paduan yang ada pada setiap baja dengan jumlah kandungan lebih dari 0,4% yang mempunyai pengaruh kenaikan tegangan tarik dan menurunkan kecepatan pendinginan kritis.

C. Unsur Mangan (Mn)

Unsur mangan dalam proses pembuatan baja berfungsi sebagai *deoxidizer* (pengikat) sehingga proses peleburan dapat berlangsung baik.

D. Unsur Krom (Cr)

Unsur krom menaikkan kekuatan tarik dan keplastisan, menambah kekerasan, meningkatkan tahan korosi dan tahan suhu tinggi.

E. Unsur Vanadium (V) dan Wolfram (W)

Unsur Vanadium dan Wolfram ini membentuk karbida yang sangat keras dan memberikan baja dengan kekerasan yang tinggi, kemampuan potong dan daya tahan panas yang cukup tinggi pada baja yang sangat diperlukan untuk pahat potong dengan kecepatan tinggi.

Menurut Alexander, dkk. (1990), penambahan unsur lain pada baja mempunyai tiga fungsi, yaitu:

- A. Sebagai substitusi atom besi dalam larutan padat atau dalam *sementit* untuk meningkatkan kekuatan, kekerasan dan ketangguhan.
- B. Untuk menjamin terbentuknya *martensit* pada laju pendinginan yang lebih rendah dari laju pendinginan celup air.
- C. Untuk membentuk *karbida* yang lebih keras dan tahan aus dari *sementit* dan mengatur penemperan *martensit*.

www.itk.ac.id

2.1.3 Baja St.41

Baja St.41 adalah baja yang memiliki kadar karbon 0,11-0,17%, karena kadar karbonnya kurang dari 0,30% maka baja ini termasuk golongan baja karbon

rendah dan mempunyai regangan sebesar 24-36% (Wirjosumarto, 2004). Baja karbon rendah ini tidak dapat langsung dikeraskan karena kadar karbonnya kurang dari 0,3% untuk itu perlu dilakukan proses *carburizing* untuk meningkatkan kadar karbonnya sehingga nantinya dapat dikeraskan. Makna dari penamaan St.41 sendiri adalah dari St memiliki arti baja (Stahl), angka 41 dalam baja ini menunjukkan bahwa minimum ketangguhan putus-tarik adalah 41 kg/mm². Ketangguhan tarik juga dibatasi keatas yaitu umumnya St.41 ≤ 50 kg/mm² (Suherman, 1987). Adapun tabel karakteristik Baja St.41 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Komposisi Baja St.41

Unsur	% Komposisi Kimia
Karbon (C)	0,11-0,17
Mangan (Mn)	0,40-0,60
Silikon (Si)	0,03-0,30
Sulfur (S)	0,040
Phospor (P)	0,040

*) ASM Handbook Vol.1

Tabel 2.2 Sifat Mekanik Baja St.41

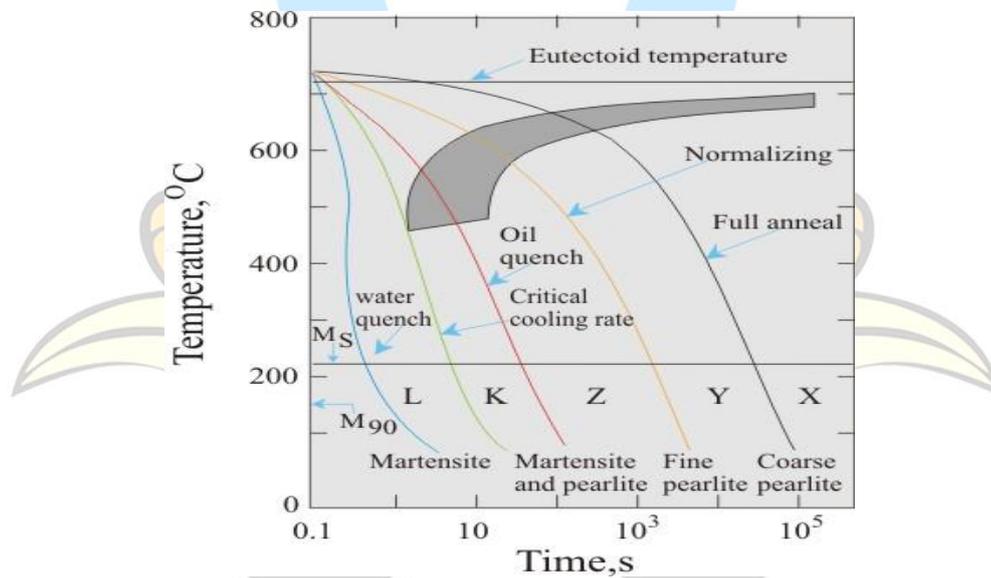
Spesifikasi	Nilai
Regangan	24-36%
Kekuatan Tarik	420 Mpa
Ketangguhan Tarik	≤ 490 Mpa
Tegangan Luluh	346 Mpa
Kekerasan	≥ 96 HB

*) Supriyono, 2015

Menurut ASM Handbook Vol.1 komposisi kimia baja St.41 hampir sama seperti baja AISI 1012 0,01-0,15% C, 0,20% Cu, 0,30-0,60% Mn, 0,1% Si, 0,040% P maksimal dan 0,050% S maksimal. Selain itu *tensile strength* baja AISI 1012 sebesar 420 Mpa. Harga material AISI 1012 pada situs www.alibaba.com berkisar 550-700 USD/ton.

2.1.4 CCT (Continuous Cooling Transformation)

Hubungan antar laju pendinginan dan mikrostruktur yang terbentuk digambarkan dalam diagram yang menghubungkan waktu, temperatur dan transformasi yang dikenal dengan diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*). Untuk menganalisa laju pendinginan yang tidak lambat dan tidak cepat dibuat diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*). Diagram ini dibuat dengan cara memanaskan baja karbon sampai mencapai temperatur austenitisasi kemudian mendinginkan dengan laju pendinginan yang kontinyu. Gambar 2.2 merupakan diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*) dari baja.



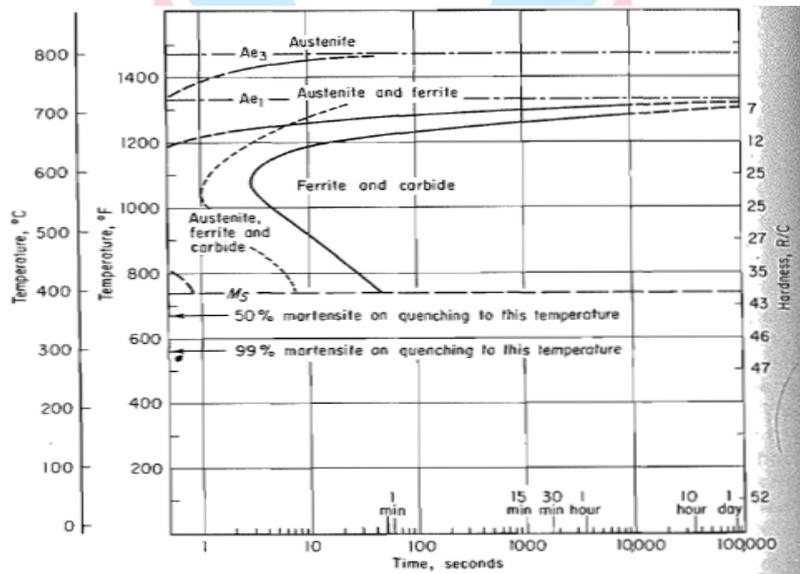
Gambar 2.2 Diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*) Variasi Media

Pendinginan terhadap Mikro Struktur (Smith, 1996)

Gambar 2.2 menunjukkan bahwa struktur martensit dihasilkan dengan pencelupan di air dengan waktu (1-10) detik. Sedangkan struktur martensit dan perlit diperoleh dengan pencelupan di oli dengan waktu (10-100) detik. Struktur bainit dan perlit diperoleh dengan pendinginan di udara dengan waktu lebih kurang (9050–10.000) detik dan struktur mikro perlit diperoleh dengan pendinginan di dapur pada waktu lebih besar dari 100.000 detik. Gambar 2.2 menunjukkan bila laju pendinginan menurun berarti waktu pendinginan dari temperatur austenit juga menurun, sehingga mikro struktur yang terbentuk adalah dari gabungan fasa ferit-fasa perlit kemudian ke fasa bainit-fasa martensit dan akhirnya pada laju yang tinggi

sekali mikrostruktur akhirnya fasa martensit. Pembentukan fasa martensit, terjadi dekomposisi fasa austenit dalam fasa ferit (α) + karbida (c). Hal ini berarti bahwa ada waktu untuk karbon untuk berdifusi dan berkonsentrasi dalam karbida sehingga fasa ferit kekurangan karbon bila fasa austenit didinginkan dengan sangat cepat.

Pada Gambar 2.3 memperlihatkan laju pendinginan untuk jenis baja *hypoeutectoid*. Diagram transformasi pendinginan kontinyu atau CCT (*Continuous Cooling Transformation*) bentuknya agak berbeda dibanding dengan TTT (*Time Temperature Transformation*). Kurva transformasi tergeser sedikit ke kanan bawah dan pada baja karbon tidak terdapat daerah transformasi austenit-bainit. Ini disebabkan karena kurva awal transformasi austenit-bainit terhalang oleh kurva transformasi austenit perlit.

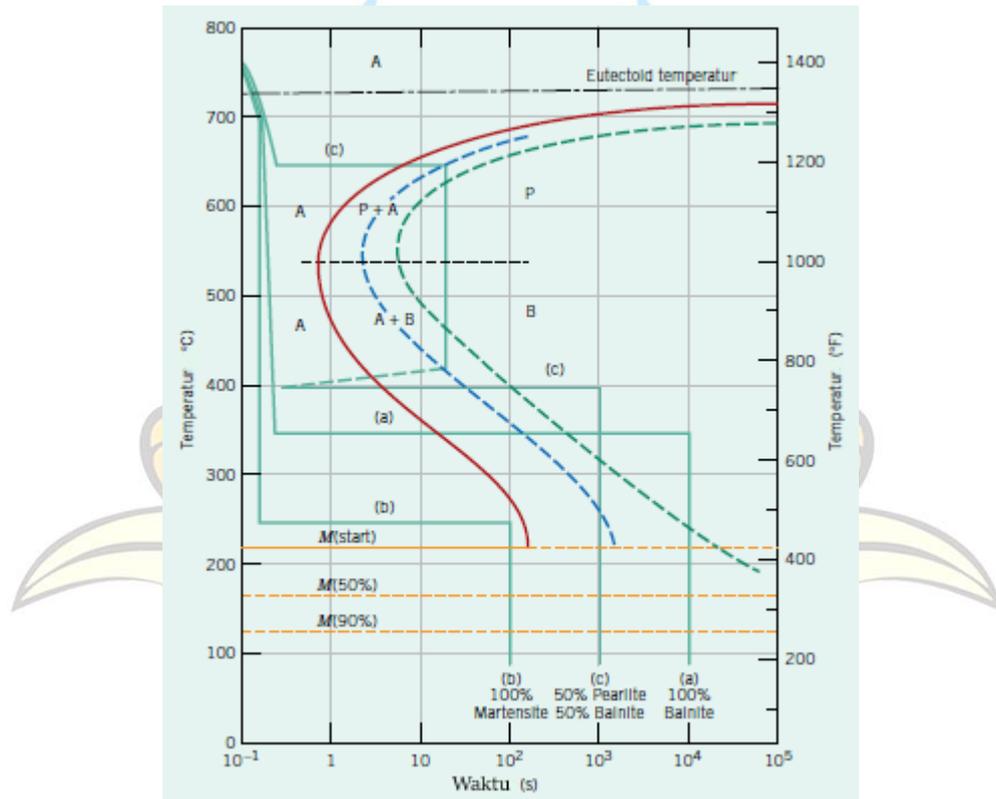


Gambar 2.3 Diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*) untuk baja *hypoeutectoid* (Dieter, 1990)

2.1.5 TTT (*Time Temperature Transformation*)

Diagram *Time Transformation Temperature* (TTT) bisa juga disebut kurva C karena bentuknya. Diagram TTT memperlihatkan permulaan dan akhir transformasi dengan waktu sebagai variabelnya. Diagram seperti ini merupakan hasil serangkaian percobaan dekomposisi isothermal, karena mengkaitkan produk transformasi dengan waktu dan temperatur tertentu disebut kurva TTT. Diagram *IT* (*Isothermal Transformation*) atau *TTT* (*Time Temperature Transformation*) dilakukan dengan memanaskan baja karbon sehingga mencapai temperatur

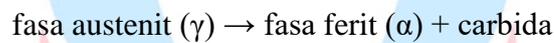
austenitisasi kemudian mendinginkan dengan laju pendinginan kontinyu pada daerah fasa austenit kemudian menahannya untuk waktu tertentu dan mendinginkan lagi dengan laju pendinginan kontinyu. Gambar 2.4 Diagram TTT tertera waktu yang diperlukan agar fasa austenit dengan komposisi eutektoid (~0,8%C-99,2%Fe) pada temperatur tertentu, bertransformasi dari austenit (A) menjadi fasa perlit (P), fasa bainit (B) dan fasa martensit (M).



Gambar 2.4 Diagram TTT (*Time Temperature Transformation*) (Callister, 2009)

Gambar 2.4 diperoleh berbagai jenis struktur sebagai produk dekomposisi fasa austenit, untuk baja tertentu. Struktur yang terbentuk fasa perlit kasar 100%, baja akan keras dan rapuh. Dari kurva TTT, sedikit dibawah temperatur kritis laju transformasi rendah meskipun pada temperatur ini mobilitas atom cukup tinggi. Hal ini disebabkan oleh setiap perubahan fasa yang meliputi nukleasi dan pertumbuhan (sebagai contoh: transformasi fasa perlit) menghadapi kesulitan nukleasi, yang timbul akibat faktor permukaan dan energi regangan. Tentu saja andaikan temperatur transformasi mendekati temperatur *lutut* kurva, laju transformasi meningkat. Kelambanan transformasi dibawah lutut kurva TTT, pada waktu pembentukan fasa bainit mudah dijelaskan, karena pada temperatur yang agak

rendah ini migrasi atom lamban, dan transformasi fasa bainit bergantung pada difusi. Pada bagian bawah kurva TTT, yaitu pada temperatur 250°C-300°C ternyata bahwa transformasi berlangsung sangat cepat, meskipun mobilitas atom pada rentang temperatur ini rendah sekali. Berdasarkan alasan ini disimpulkan bahwa transformasi fasa martensit tidak bergantung pada pergerakan atom karbon, melainkan mengikuti proses lain yang disebut transformasi tanpa difusi. Fasa austenit dapat bertransformasi menjadi fasa martensit bila temperatur berada dibawah temperatur kritis, biasanya disebut M_s (temperatur awal fasa martensit). Di bawah M_s jumlah fasa austenit yang bertransformasi menjadi fasa martensit. Pada proses transformasi isothermal pada baja menunjukkan bahwa reaksi:



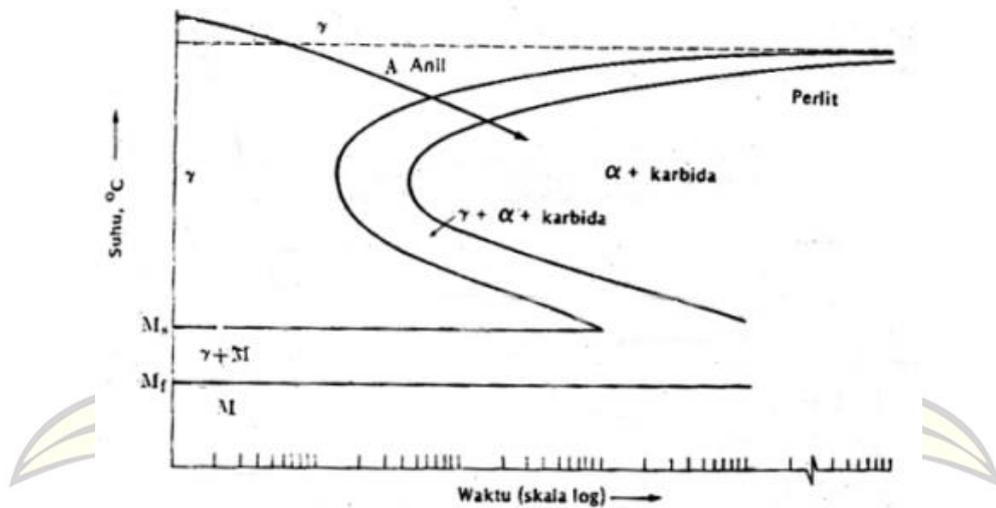
Reaksi di atas berbeda untuk suhu di atas dan di bawah hidung kurva TTT. Di atas suhu tersebut nukleasi terbatas pada batas butir fasa austenit dan fasa ferit (α) tumbuh sebagai fasa perlit menuju ke pusat butir fasa austenit semula. Di bawah hidung reaksi tertunda karena pergerakan atom lambat akan tetapi logam yang mengalami pendinginan lanjut dengan mudah membentuk fasa ferit (α) dan karbida (c) yang bernukleasi pada titik-titik cacat dalam butir-butir fasa austenit menghasilkan fasa bainit. Diatas suhu 550°C fasa perlit terbentuk dalam waktu yang lebih singkat dari pada fasa bainit, dibawah suhu tersebut fasa bainit terbentuk lebih dahulu. Kedua daerah suhu tersebut menghasilkan fasa ferit (α) + karbida (c).

Dari diagram TTT (*Time Temperature Transformation*) dapat dibuat tabel beberapa macam proses *heat treatment* pada baja.

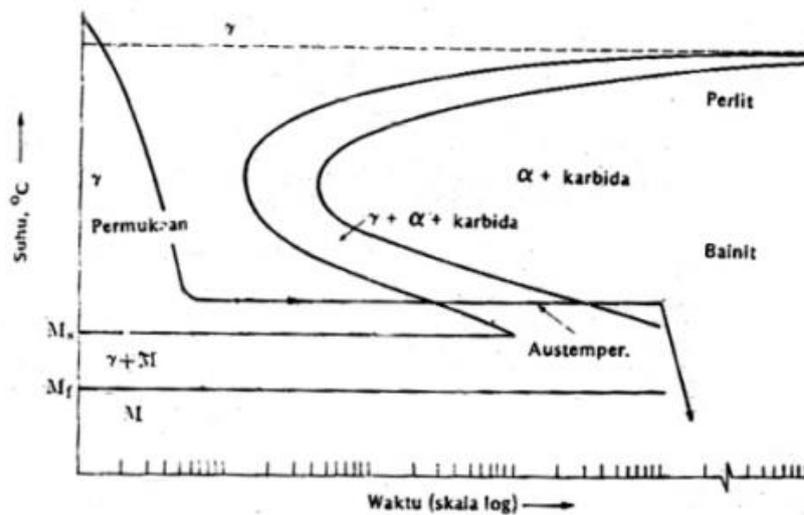
Tabel 2.3 Beberapa Macam Proses *Heat Treatment* Baja (Vlack, 1992)

Proses	Tujuan	Prosedur	Fasa
Anil	Pelunakan	Pendinginan lambat dari daerah (γ) stabil	Ferrit + karbida
Celup	Pengerasan	Celup yang lebih cepat dari CRm	Martensite
Austemper	Pengerasan tanpa pembentukan martensite rapuh	Celup disusul dengan transformasi	Ferrit + karbida

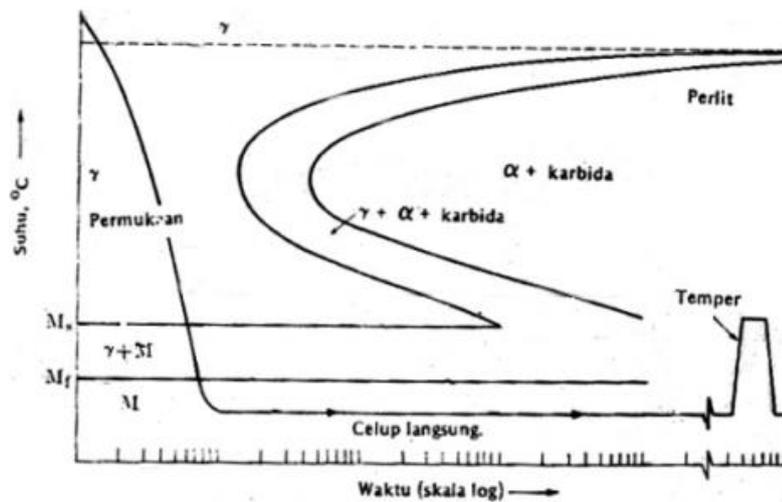
		isothermal di atas Ms	
Temper	Peningkatan ketangguhan (biasanya dengan pelunakan minimal)	Pemanasan ulang dari martensit	Ferrit + Karbida



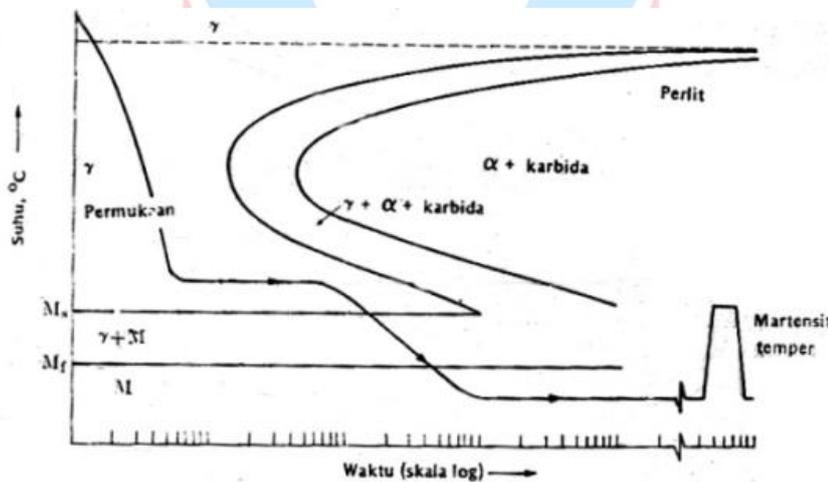
Gambar 2.5 TTT (Time Temperature Transformation) anealing (Vlack, 1992)



Gambar 2.6 TTT (Time Temperature Transformation) austempering (Vlack, 1992)



Gambar 2.7 TTT (*Time Temperature Transformation*) tempering (Vlack, 1992)



Gambar 2.8 TTT (*Time Temperature Transformation*) martempering (Vlack, 1992)

2.2 Heat Treatment (Perlakuan Panas)

Heat Treatment (perlakuan panas) adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan jalan memanaskan spesimen pada elektrik *furnace* (tungku) pada temperatur rekristalisasi selama periode waktu tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air garam, oli dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Sifat-sifat logam yang terutama sifat mekanik sangat dipengaruhi oleh struktur mikro logam disamping posisi kimianya, contohnya suatu logam atau paduan akan mempunyai

sifat mekanis yang berbeda-beda jika struktur mikronya diubah (Schomentz and Gruber, 1994).

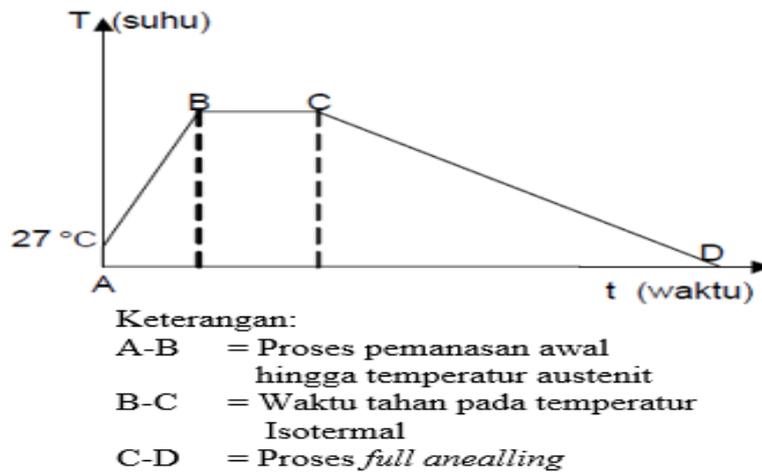
Dengan adanya pemanasan atau pendinginan dengan kecepatan tertentu maka bahan-bahan logam dan paduan akan terjadi perubahan pada struktur material tersebut. Perlakuan panas adalah proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan (Schomentz and Gruber, 1994). Dalam prakteknya terdapat banyak macam proses *heat treatment*. Secara garis besar berbagai macam proses *heat treatment* ini dibedakan menurut tingginya temperatur pemanasan, lamanya keberadaan pada temperatur tersebut dan cara laju pendinginan. Proses laku panas atau *heat treatment* dibedakan menjadi 2 macam:

- 1 Proses laku panas yang menghasilkan struktur yang *equilibrium*, contohnya: *annealing* dan *normalizing*
- 2 Proses laku panas yang menghasilkan struktur yang *non-equilibrium*, contohnya: *hardening*.

Adapun beberapa jenis *heat treatment* sebagai berikut:

A) Full Annealing

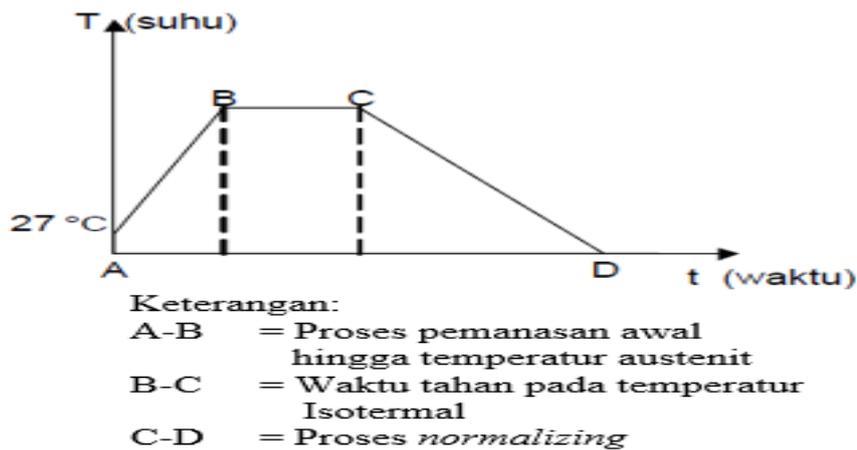
Anil (*Full Annealing*) adalah proses *heat treatment* yang dilakukan dengan memanaskan baja sampai temperatur pada daerah austenit lalu mendinginkannya secara perlahan-lahan di dalam tungku. Adapun caranya adalah dengan memanaskan baja sedikit di atas suhu kritis A3 atau A1 (tergantung jenis baja karbonnya), dibiarkan sampai suhu homogen dan disusul dengan pendinginan secara perlahan-lahan di dalam tungku dijaga agar suhu di bagian luar dan dalam kira-kira sama. Seberapa tinggi pemanasannya dan seberapa lambat laju pendinginannya, tergantung pada tujuan dan kondisi awal benda kerja. Tujuan dari *full annealing* ini adalah melunakkan, juga dapat memperbaiki sifat kelistrikannya dan kemagnetan, serta sifat ketangguhannya. Proses *annealing* ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.9 Diagram *Full Annealing* (Djaprie, 1995)

B) Normalizing

Normalizing adalah proses pemanasan pada suhu *austenite* dan didinginkan di udara terbuka. Adapun caranya adalah memanaskan baja pada suhu 10–40°C di atas daerah kritis atas disusul dengan pendinginan dalam udara. *Normalizing* biasa diterapkan pada baja karbon rendah dan baja paduan untuk menghilangkan pengaruh pengerjaan bahan sebelumnya, menghilangkan tegangan dalam, dan memperoleh sifat-sifat fisik yang diinginkan. Proses *normalizing* ditunjukkan Gambar 2.11.



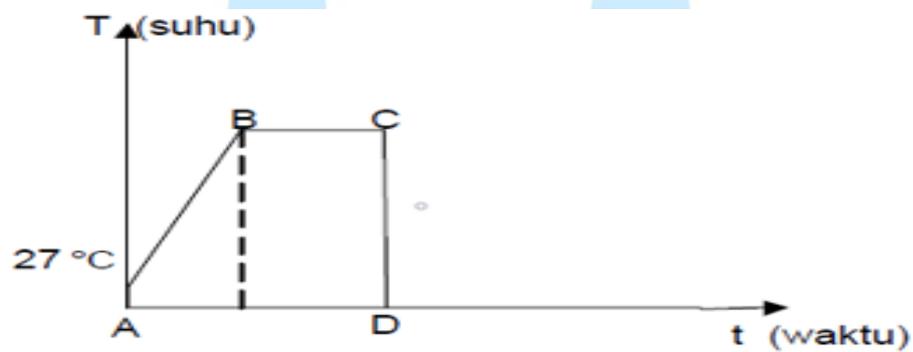
Gambar 2.10 Diagram *Normalizing* (Djaprie, 1995)

C) Quenching (Pencelupan)

Quenching yaitu memanaskan baja sampai suhu austenit, kemudian dilakukan pendinginan secara cepat dengan cara dicelup ke dalam cairan pendingin, yang dapat berupa air, air garam, minyak, atau oli. Pencelupan ini bertujuan menambah kekerasan baja, yang biasanya dilakukan untuk memperoleh sifat tahan

aus yang tinggi atau kekuatan yang lebih baik. Dengan pendinginan cepat ini maka terbentuk martensit yang keras.

Temperatur pemanasan, lama waktu tahan dan laju pendinginan untuk pengerasan banyak tergantung pada komposisi kimia dari baja. Kekerasan yang terjadi pada benda akan tergantung pada temperatur pemanasan, waktu tahan, jenis cairan dan laju pendinginan yang dilakukan pada proses laku panas, disamping juga pada *hardenability* baja yang dikeraskan. Semakin tinggi kadar karbon, semakin tinggi *hardenability* yang dimiliki baja. Proses *quenching* ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Keterangan:

- A-B = Proses pemanasan awal hingga temperatur austenit
- B-C = Waktu tahan pada temperatur Isotermal
- C-D = Proses *tempering*

Gambar 2.11 Diagram *Quenching* (Djaprie, 1995)

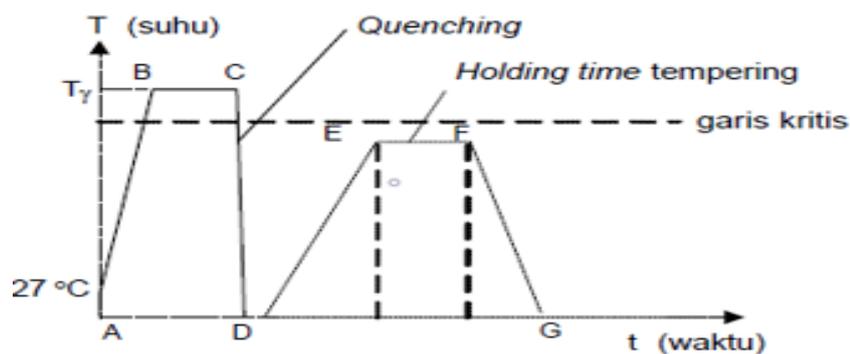
D) *Tempering*

Tempering didefinisikan sebagai proses pemanasan baja setelah proses *quenching* sehingga diperoleh *ductility* tertentu. Proses *tempering* biasanya dilator belakang oleh:

- 1 Martensit keras dan getas.
- 2 Mampu mesin dan *ductility* rendah.

Tempering pada suhu rendah antara $150\text{--}230^\circ\text{C}$ tidak akan menghasilkan penurunan kekerasan yang berarti, karena pemanasan akan menghilangkan tegangan dalam terlebih dahulu. Bila suhu temper meningkat, martensit terurai lebih cepat dan sekitar suhu 315°C perubahan fasa menjadi martensit temper berlangsung lebih cepat. Unsur paduan mempunyai pengaruh yang berarti atas temper, pengaruhnya menghambat laju pelunakan sehingga baja paduan akan

memerlukan suhu temper yang lebih tinggi untuk memperoleh kekerasan tertentu. Pada proses temper perlu diperhatikan suhu maupun waktu. Meskipun pelunakan terjadi pada saat-saat pertama setelah suhu temper dicapai, selama pemanasan (yang cukup lama) terjadi penurunan kekerasan. Biasanya baja dipanaskan pada suhu tertentu kemudian ditahan dalam waktu yang tertentu untuk mendapatkan harga kekerasan dan ketangguhan yang diinginkan. Proses *tempering* ditunjukkan Gambar 2.13.



Keterangan:

- A-B = Proses pemanasan awal hingga temperatur austenit
- B-C = Waktu tahan pada temperatur Isotermal
- C-D = Proses *tempering*

Gambar 2.12 Diagram *Tempering* (Djaprie, 1995)

2.2.1 Pendinginan

Proses pendinginan dilakukan setelah perlakuan panas diberikan pada baja. Pada umumnya mikro struktur baja tergantung pada laju pendinginan dari temperatur fasa austenit sampai ke temperatur kamar. Pendinginan terbagi dua yaitu, pendinginan cepat dan pendinginan lambat. Pendinginan cepat bertujuan agar terbentuk mikro struktur baja yang keras yang mudah getas, sedangkan pendinginan lambat bertujuan agar didapat mikro struktur yang lebih stabil dikarenakan perubahan bentuk butir terjadi secara perlahan, sehingga menghasilkan baja yang lunak dan ulet.

Medium pendingin yang sering digunakan diantaranya:

1. Pencelupan (*quenching*) dengan media; air, minyak, es, dan *dry ice*
2. Pendinginan di ruangan atau dikenal dengan *air cooling*
3. Pendinginan di dalam tungku atau dikenal dengan *furnace cooling*

Penghilangan kondisi pengerjaan dingin terjadi melalui kombinasi dari tiga proses yaitu (Smallman, 1985):

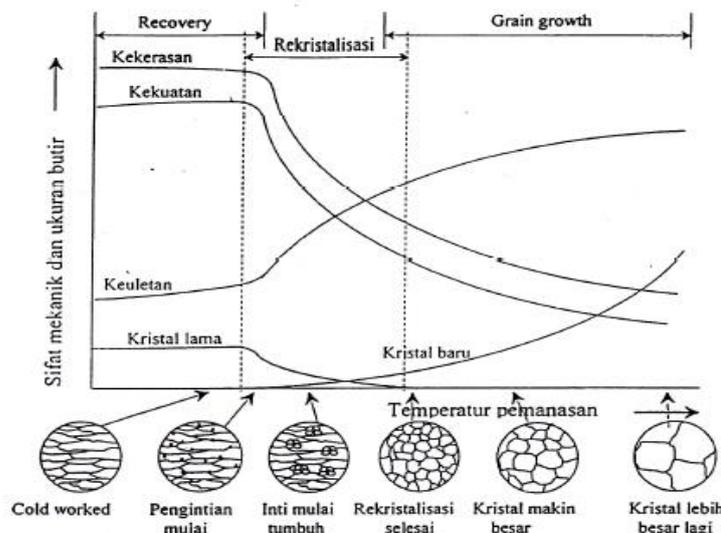
1. Pemulihan (*Recovery*)
2. Rekrystalisasi (*Recrystallization*)
3. Pertumbuhan butir (*Grain growth*)

A. Pemulihan (*Recovery*)

Pemulihan terjadi pada awal pemanasan kembali dengan temperatur rendah, dan perubahan tidak diikuti dengan perubahan struktur, serta perubahan sifat mekanik. Perubahan yang terjadi hanyalah berkurangnya tegangan dalam. Perlunya pengurangan tegangan dalam ini untuk dapat mencegah terjadinya distorsi pada bahan yang mengalami pengerjaan dingin akibat tegangan sisa.

B. Rekrystalisasi (*Recrystallization*)

Pemanasan kembali hingga temperatur yang lebih tinggi akan menyebabkan munculnya kristal yang baru dari kristal yang terdistorsi, dengan struktur kristal dan komposisi kimia yang sama pada saat sebelum pengerjaan dingin, kecuali kristal yang *dendrite*, kristal yang tadinya *dendrite*, setelah pengerjaan dingin dan pemanasan kembali bentuk *dendrite* akan hilang. Kristal baru yang mula-mula muncul pada batang kristal yang mengalami distorsi paling hebat yang terjadi pada batas butir dan bidang slip. Kelompok-kelompok atom (*cluster of atomic*) disekitarnya menjadi inti. Sehingga inti bertumbuh menjadi kristal baru, yang lebih besar dan akhirnya kristal lama yang terdeformasi akan habis.



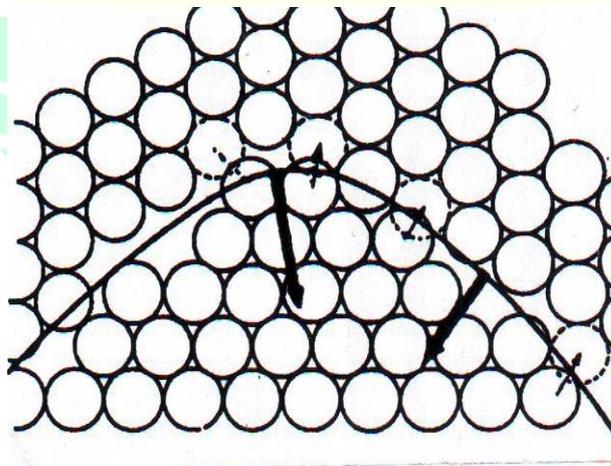
Gambar 2.13 Proses Reikrystalisasi (Wahid, 1987)

Rekristalisasi terjadi melalui pergantian dan pertumbuhan. Untuk memperoleh suatu proses rekristalisasi diperlukan masa inkubasi. Maka inkubasi diperlukan sebagai waktu untuk mengumpulkan sejumlah energi yang cukup memulai rekristalisasi. Gambar 2.14 mula-mula laju kristalisasi rendah kemudian cepat dan akhirnya melambat lagi menjelang akhir proses.

Rekristalisasi dapat terjadi pada temperatur tertentu yang dinamakan temperatur rekristalisasi temperatur dimana logam yang dideformasi dingin akan mengalami rekristalisasi, yang dapat selesai dalam satu jam. Tingginya temperatur rekristalisasi ini dipengaruhi oleh besarnya deformasi dingin sebelumnya, temperatur rekristalisasi makin rendah bila logam telah mengalami pendinginan.

C. Pertumbuhan Butir (*Grain Growth*)

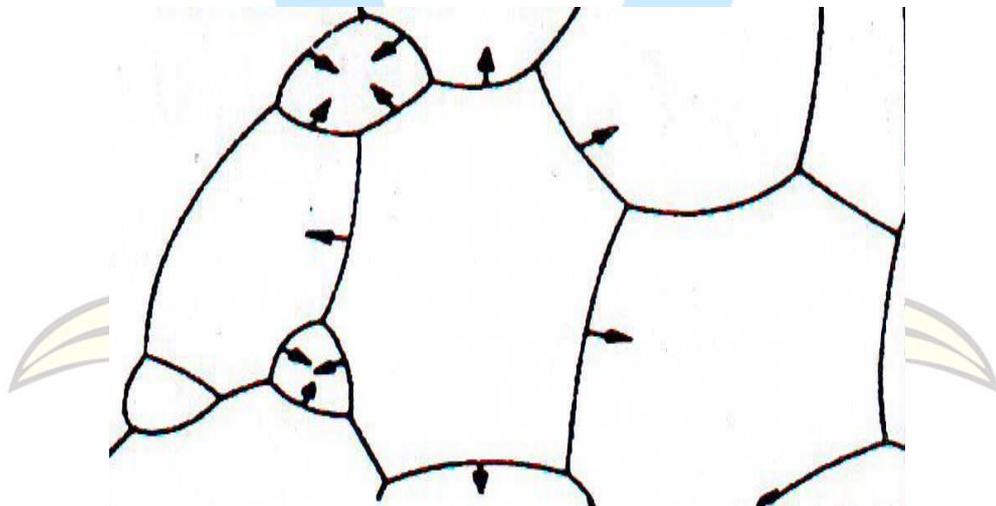
Pertumbuhan butir merupakan gejala anil yang berlangsung dengan baik, batas butir menjadi lurus, butir yang kecil menyatu dengan yang lebih besar tumbuh. Pertumbuhan butir adalah faktor terpenting yang mengendalikan proses pada tegangan batas butir. Besar butir rata-rata dalam baja mangan lama kelamaan akan bertambah besar bila suhu menghasilkan pergerakan atom yang cukup berarti. Gaya pendorong untuk pertumbuhan kristal ialah energi yang dilepaskan sewaktu atom bergerak melintasi batas butir dari arah butir dengan permukaan cembung kepermukaan butir cekung. Atom rata-rata terkoordinir dengan sejumlah atom tetangga yang lebih banyak pada jarak atom antar keseimbangan. Hasilnya batas butir akan bergerak kepusat garis lengkung (Gambar 2.15). Semua bahan baik logam maupun bukan logam mempunyai karakteristik pertumbuhan butir.



Gambar 2.14 Pergerakan Pertumbuhan Butir (Van Vlack, 1985)

Bentuk butir dalam bahan yang padat biasanya diatur oleh adanya butiran-butiran lain disekitarnya. Dalam setiap butir, semua sel satuan teratur dalam satu arah dan satu pola tertentu. Pada batas butir, antara dua butir yang berdekatan terdapat daerah transisi yang tidak searah dengan pola dalam kedua butiran tadi. Ketidakteraturan orientasi antara butiran yang berdekatan menghasilkan tumbukan atom sepanjang batas butir.

Gambar. 2.16 karena butir yang kecil cenderung untuk mempunyai permukaan yang lebih cembung, dibandingkan dengan butir yang lebih besar, batas butir bergerak ke arah pusat lengkungan akibatnya butir-butir yang kecil lama kelamaan menghilang. Hasil akhirnya adalah pertumbuhan butir.



Gambar. 2.15 Pertumbuhan Butir (Van Vlack, 1985)

Laju pertumbuhan tergantung sekali pada suhu. Kenaikan suhu berakibat meningkatnya energi getaran termal, yang kemudian mempercepat difusi atom melalui batas butir, dan butiran yang kecil menuju butiran besar penurunan suhu akan menghambat pergerakan batas butir akan tetapi tidak dapat membalikkan reaksi. Satu-satunya jalan untuk mengurangi ukuran butir ialah dengan cara deformasi plastis disusul dengan pembentukan kristal baru melalui rekristalisasi.

Batas butir memiliki energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan didalam butir. Karena batas butir berpengaruh atas bahan dalam berbagai hal, diketahui besar daerah batas butir persatuan volume adalah S_v . Besarnya dapat dihitung dengan mudah dengan menarik suatu garis melingkar pada gambar struktur mikro. Bahan dengan butiran yang lebih halus lebih kuat dari pada baja dengan butiran yang kasar.

2.2.2 *Holding Time* (Waktu Penahanan)

Pada saat tercapainya temperatur kritis atas, struktur sudah hampir seluruhnya austenit. Tetapi pada saat itu austenite masih berbutir halus dan kadar karbon serta unsur paduannya belum homogen dan biasanya masih ada karbida yang belum larut. Untuk itu baja perlu ditahan pada temperatur austenit beberapa saat untuk memberi kesempatan larutnya karbida dan lebih homogenya austenit.

Dan lamanya waktu penahan ini tergantung pada:

- 1 Tingkat kelarutan karbida.
- 2 Ukuran butir yang diinginkan.
- 3 Laju pemanasan.
- 4 Ketebalan spesimen (ukuran penampang).

Beberapa pedoman pemakaian waktu tahan pada proses *heat treatment* pada baja:

- 1 Baja konstruksi dari baja karbon dan baja paduan rendah yang mengandung karbida yang mudah larut, waktu tahan 5 - 15 menit.
- 2 Baja konstruksi dari baja paduan menengah, waktu tahan 15 - 20 menit.
- 3 *Low Carbon Steel*, waktu tahan 10 - 30 menit.
- 4 *High Alloy Chrome Steel*, waktu tahan 10 - 60 menit.
- 5 *Hot Work Tool Steel*, waktu tahan 15 - 30 menit.
- 6 *High Speed Steel*, waktu tahan beberapa menit saja, karena temperatur pemanasannya sangat tinggi, 1200 - 1300°C.

2.2.3 *Carburizing*

Carburizing adalah proses perlakuan panas pada permukaan benda kerja dengan memanfaatkan karbon sebagai unsur pengerasan. Prinsip kerja perlakuan panas jenis ini adalah meletakkan karbon disekitar benda kerja pada saat dipanaskan, sehingga karbon akan berdifusi dengan permukaan benda kerja. Hasil yang diperoleh adalah benda kerja dengan permukaan yang keras akan tetapi bagian inti tetap ulet. Bahan yang biasanya digunakan untuk benda-benda yang mendapat perlakuan *carburizing* adalah baja dengan kadar 2%. Setelah mengalami proses *carburizing* benda tersebut dapat memiliki kadar karbon mencapai 9%. Pada proses pengkarbonan benda kerja harus dibersihkan terlebih dahulu kemudian bagian

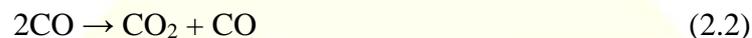
benda yang tidak ingin dikeraskan ditutup dengan lapisan tembaga atau pelapis lainnya. Benda kerja yang akan dikarburisasi ditempatkan dalam kotak yang berisi media penambah unsur karbon atau media *carburizing*. Dipanaskan pada suhu *austenisasi* (800–950°C). Akibat pemansan ini, media *carburizing* akan teroksidasi menghasilkan gas CO₂ dan CO. Gas CO akan bereaksi dengan permukaan baja membentuk atom karbon yang kemudian berdifusi ke dalam baja (Adi, dkk,2017).

2.2.4 Pack Carburizing

Pack carburizing adalah salah satu bagian dari proses perlakuan panas dengan cara mendifusikan karbon padat pada permukaan logam dimana logam dasar tersebut mempunyai kandungan karbon dalam jumlah kecil. Proses *carburizing* dilakukan dengan memanaskan logam pada lingkungan yang banyak mengandung karbon aktif, karbon akan terdifusi ke dalam logam. Pada umumnya *carburizing* dilakukan dengan meletakkan baja pada kotak atau kontainer dengan karbon aktif berbentuk padat dan diisolasi dari udara luar, dipanaskan di atas suhu *austenisasi* dan ditahan selama waktu tertentu. Karena temperatur yang tinggi, karbon akan teroksidasi oleh oksigen yang terperangkap di dalam kontainer menjadi gas CO₂. Selanjutnya reaksi-reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Dengan temperatur yang semakin tinggi, kesetimbangan reaksi akan cenderung ke arah kanan, yaitu semakin banyak gas CO yang terbentuk. Gas CO selanjutnya akan terurai dengan reaksi:



Atom C yang dihasilkan dalam reaksi ini akan terdifusi ke dalam permukaan logam dalam bentuk larutan padat intertisi yaitu austenit.

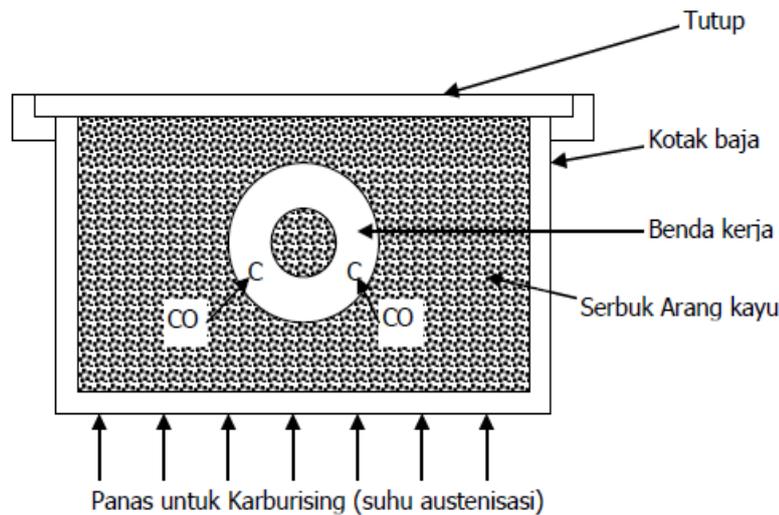
Bahan kimia aktif, contohnya BaCO₃, berfungsi sebagai *energizer* yang mempercepat terbentuknya gas CO₂. Hal ini dapat ditunjukkan dengan persamaan berikut:



Ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses *carburizing* antara lain: *holding time*, karbon potensial, temperatur *carburizing* dan waktu *quenching*. Kekerasan baja akan meningkat jika *holding time* dan waktu *quenching* semakin lama.

Semakin lama *holding time* maka *case depth* semakin dalam (Clark & Varney, 1962).

Pada sistem *pack carburizing*, baja (benda kerja) dimasukkan di sekitar serbuk arang kayu yang saat pemanasan mengeluarkan gas CO₂ dan CO. Pada permukaan baja karbon rendah, gas CO terurai membentuk atom karbon yang kemudian terdifusi masuk ke dalam baja. Dengan demikian kadar karbon pada permukaan baja akan meningkat sehingga meningkatkan kekerasan permukaan.



Gamabar 2.16 Proses *Pack Carburizing* (Budinski, 1999)

2.2.5 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan senyawa *amorf* yang dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau arang yang diperlakukan secara khusus untuk mendapatkan daya adsorpsi yang tinggi. Karbon aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya selektif, tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Daya serap karbon aktif sangat besar, yaitu 25-100% terhadap berat karbon aktif (Darmawan, 2008).

Karbon aktif dapat dibagi menjadi dua tipe, yaitu:

1. Karbon Aktif Sebagai Pemucat

Biasanya berbentuk *powder* yang halus dengan diameter pori 1000 Å, digunakan dalam fase cair dan berfungsi untuk memindahkan zat-zat pengganggu.

2. Karbon Aktif Sebagai Penyerap Uap

Biasanya berbentuk granular atau pelet yang sangat keras, diameter porinya 10-200 A ϕ , umumnya digunakan pada fase gas yang berfungsi untuk pengembalian pelarut, katalis, dan pemurnian gas (Ruthven, 1984).

Sifat adsorpsi karbon aktif sangat tergantung pada porositas permukaannya, namun dibidang industri, karakterisasi karbon aktif lebih difokuskan pada sifat adsorpsi dari pada struktur porinya. Bentuk pori karbon aktif bervariasi yaitu berupa: silinder, persegi panjang, dan bentuk lain yang tidak teratur. Gugus fungsi dapat terbentuk pada karbon aktif ketika dilakukan aktivasi, yang disebabkan terjadinya interaksi radikal bebas pada permukaan karbon dengan atom-atom seperti oksigen dan nitrogen, yang berasal dari proses pengolahan ataupun atmosfer. Gugus fungsi ini menyebabkan permukaan karbon aktif menjadi reaktif secara kimiawi dan mempengaruhi sifat adsorpsinya. Oksidasi permukaan dalam produksi karbon aktif, akan menghasilkan gugus hidroksil, karbonil, dan karboksilat yang memberikan sifat amfoter pada karbon, sehingga karbon aktif dapat bersifat sebagai asam maupun basa (Sudirjo, 2006). Adapun syarat mutu karbon aktif yang dibutuhkan dapat dilihat pada Gambar 2.19.

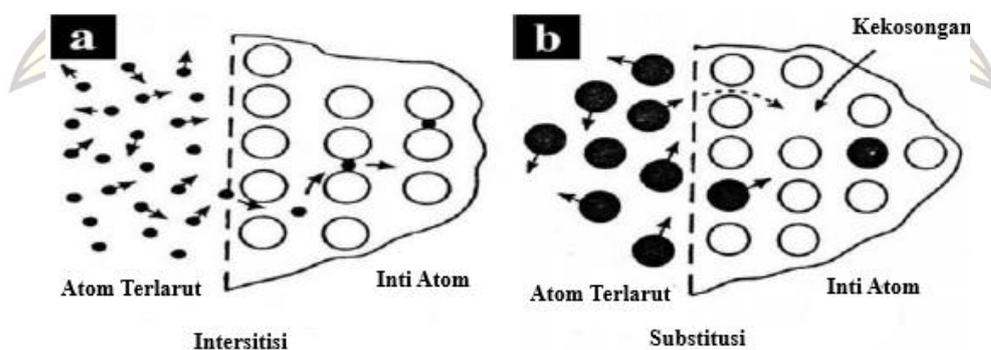
Tabel 2.4 Syarat Mutu Karbon Aktif (SNI. 06-3730-1995)

NO	Uraian	Satuan	Persyaratan	
			Butiran	Serbuk
1	Bagian yang hilang pada pemanasan 950	%	Max 1,5	Max 25
2	Kadar air	%	Max 4,5	Max 15
3	Kadar Abu	%	Max 2,5	Max 10
4	Bagian yang tidak mengarang		Tidak ternyata	Tidak ternyata
5	Daya serap terhadap larutan I2	Mg/gram	Min 750	Min 750

6	Karbon aktif murni	%	Min 80	Min 65
---	-----------------------	---	--------	--------

2.2.6 Difusi Atom

Difusi adalah gerak spontan dari atom atau molekul di dalam bahan yang cenderung membentuk komposisi yang seragam. Hukum pertama Fick's menyatakan bahwa difusi dari sebuah elemen dalam suatu bahan substrat merupakan fungsi koefisien difusi dan gradien konsentrasi. Gradien konsentrasi adalah jumlah atom yang terdapat di sekitar substrat dibandingkan dengan jumlah atom yang terdapat di dalam substrat (Schonmetz dan Gruber, 1994). Skema difusi ditunjukkan pada Gambar 2.19. Pendinginan cepat bertujuan memperoleh permukaan yang lebih keras akibat perubahan struktur mikro pada permukaan baja yang telah dicarburizing. Dari bermacam-macam struktur mikro, martensit merupakan yang paling keras dan kuat namun paling getas (William and Callister, 1997).



Gambar 2.17 (a) Secara Intersitisi, (b) Secara Substitusi
(William and Callister,1997)

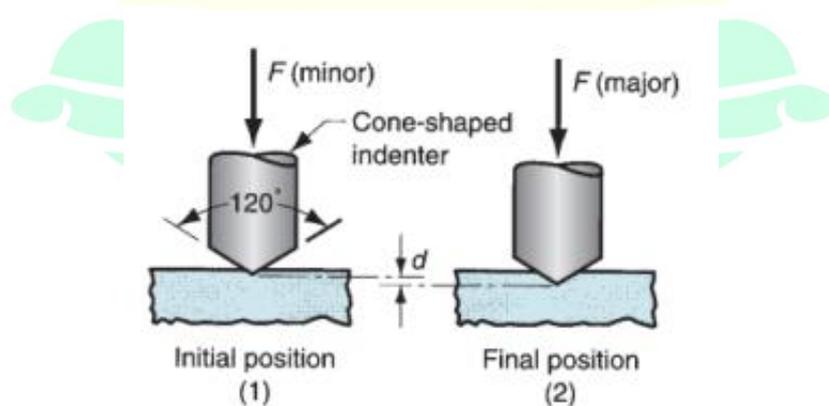
2.3 Karakterisasi Material

Karakterisasi baja St.41 pada proses *pack carburizing* ini meliputi pengujian nilai kekerasan dan metalografi. Kekerasan merupakan salah satu metode yang lebih cepat dan lebih murah untuk menentukan sifat mekanik suatu material. Kekerasan bukanlah konstanta fisika, nilainya tidak hanya bergantung pada material yang diuji, namun juga dipengaruhi oleh metode pengujiannya (Magdalena,2017). Metalografi adalah gambaran mikro pada permukaan logam

yang sudah dipreparasi. Metalografi merupakan pengujian dan pengamatan terhadap struktur butir suatu logam. Dalam pengamatan secara metalografi dapat diperoleh gambaran struktur butiran suatu logam. Pengujian metalografi harus menggunakan bantuan dari mikroskop optik. Metalografi merupakan disiplin ilmu yang mempelajari karakteristik mikrostruktur suatu logam dan paduannya serta hubungannya dengan sifat-sifat logam dan paduannya tersebut (Dyah,2013). Menurut Agus, 2014 salah satu metode yang digunakan dalam analisis unsur-unsur logam pengotor dalam suatu bahan adalah metode spektrometer emisi. Spektrometer emisi memiliki kemampuan mengidentifikasi unsur pada tingkat konsentrasi ppm dan pengukuran secara simultan. Untuk mendapatkan informasi akurat maka pengukuran dilakukan pada kondisi pengukuran yang stabil dan optimum.

2.3.1 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dengan metode *rockwell* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap benda uji (spesimen) yang berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan material uji tersebut. Pengukurannya dapat dilakukan dengan bantuan sebuah kerucut intan dengan sudut puncak 120° dan ujungnya yang dibulatkan sebagai benda pendesak (indenter) seperti terlihat pada gambar 2.20. Prinsip pengujian pada metode *rockwell* adalah dengan menekan penetrator ke dalam benda kerja dengan pembebanan, dan kedalaman indentasi akan memberikan harga kekerasan yaitu perbedaan kedalaman indentasi yang didapatkan dari beban mayor dan minor.



Gambar 2.18 Teknik Pengujian Kekerasan *Rockwell* (Callister, 2009)

Pengujian *rockwell* merupakan metode yang paling umum digunakan untuk mengukur kekerasan karena sangat mudah dilakukan dan tidak memerlukan keterampilan khusus. Beberapa skala yang berbeda dapat dimanfaatkan dari kombinasi yang mungkin dari berbagai indenters dan beban yang berbeda, yang memungkinkan pengujian hampir semua paduan logam (serta beberapa polimer). Indenters termasuk bola baja bulat dan mengeras yang memiliki diameter $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{4}$ dan $\frac{1}{2}$ inci (1,588, 3,175, 6,350, dan 12,70 mm), dan indenter kerucut (*Brale*), yang digunakan untuk bahan yang paling sulit (Callister, 2009).

Dengan sistem ini, angka kekerasan ditentukan oleh perbedaan kedalaman penetrasi yang dihasilkan dari penerapan beban minor awal diikuti oleh beban besar yang lebih besar; pemanfaatan beban minor meningkatkan akurasi pengujian. Atas dasar besarnya beban besar dan kecil, ada dua jenis pengujian: *rockwell* dan *rockwell* superfisial. Untuk *rockwell*, beban minor adalah 10 kg, sedangkan muatan utama adalah 60, 100, dan 150 kg (Callister, 2009).

Setiap skala diwakili oleh huruf alfabet; beberapa terdaftar dengan indenter yang sesuai dan memuat di Tabel 2.5 dan 2.6. Untuk pengujian superfisial, 3 kg adalah beban minor; 15, 30, dan 45 kg adalah nilai muatan utama yang mungkin. Timbangan ini diidentifikasi oleh 15, 30, atau 45 (sesuai dengan beban), diikuti oleh N, T, W, X, atau Y, tergantung pada indenter. Tes superfisial sering dilakukan pada spesimen tipis. Tabel 6.6b menyajikan beberapa skala dangkal diikuti oleh identifikasi skala yang sesuai. Misalnya, 80 HRB mewakili kekerasan *rockwell* 80 pada skala B, dan 60 HR30W menunjukkan kekerasan dangkal 60 pada skala 30W (Callister, 2009).

Tabel 2.5 Skala Kekerasan *Rockwell*

<i>Scale Symbol</i>	<i>Indenter</i>	<i>Major Load (kg)</i>
A	<i>Diamond</i>	60
B	$\frac{1}{16}$ in.ball	100
C	<i>Diamond</i>	150
D	<i>Diamond</i>	100
E	$\frac{1}{8}$ in.ball	100
F	$\frac{1}{16}$ in.ball	60

G	$\frac{1}{16} \text{ in.ball}$	150
H	$\frac{1}{8} \text{ in.ball}$	60
K	$\frac{1}{8} \text{ in.ball}$	150

*) Callister, 2009

Tabel 2.6 Skala Kekerasan *Rockwell* Surfifal

<i>Scale Symbol</i>	<i>Indenter</i>	<i>Major Load (kg)</i>
15N	<i>Diamond</i>	15
30N	<i>Diamond</i>	30
45N	<i>Diamond</i>	45
15N	$\frac{1}{16} \text{ in.ball}$	15
30N	$\frac{1}{16} \text{ in.ball}$	30
45N	$\frac{1}{16} \text{ in.ball}$	45
15N	$\frac{1}{8} \text{ in.ball}$	15
30N	$\frac{1}{8} \text{ in.ball}$	30
45N	$\frac{1}{8} \text{ in.ball}$	45

*) Callister, 2009

Pengukuran kekerasan *rockwell* otomatis dan sangat mudah digunakan; kekerasan dibaca secara langsung, dan setiap pengukuran hanya membutuhkan beberapa detik. Peralatan ini juga memungkinkan variasi dalam waktu memuat aplikasi. Variabel ini juga harus dipertimbangkan dalam menafsirkan data kekerasan (Callister, 2009).

2.3.2 Pengujian Metalografi

Pengujian struktur mikro menggunakan metode metalografi. Metalografi adalah gambaran mikro pada permukaan logam yang sudah dipreparasi. Gambaran struktur mikro itu tidak akan terlihat tanpa dipreparasi. Metalografi merupakan pengujian dan pengamatan terhadap struktur butir suatu logam. Dalam pengamatan secara metalografi dapat diperoleh gambaran struktur butiran suatu logam. Pengujian metalografi harus menggunakan bantuan dari mikroskop optik. Metalografi merupakan disiplin ilmu yang mempelajari karakteristik mikrostruktur suatu logam dan paduannya serta hubungannya dengan sifat-sifat logam dan

paduannya tersebut. Permukaan sampel harus benar-benar diratakan agar sampel yang telah dipreparasi dapat terlihat dan tergambar bentuk struktur mikro dari mikroskop sehingga cahaya yang berasal dari mikroskop akan memantul ke mata kita. Oleh karena itu, sebelum dilakukan pengamatan mikrostruktur dengan mikroskop maka diperlukan proses-proses persiapan sampel. Sampel yang akan diuji harus dipreparasi dengan tahap-tahap preparasi spesimen yaitu:

A. *Sampling position* (proses pengambilan sampel)

Pemilihan sampel yang tepat dari suatu benda uji studi mikroskopik merupakan hal yang sangat penting. Pemilihan sampel tersebut didasarkan pada tujuan pengamatan yang hendak dilakukan. Pada umumnya bahan komersil tidak homogen, sehingga satu sampel yang diambil dari suatu volume besar tidak dapat dianggap representatif. Pengambilan sampel harus direncanakan sedemikian sehingga menghasilkan sampel yang sesuai dengan kondisi rata-rata bahan atau kondisi di tempat-tempat tertentu (kritis), dengan memperhatikan kemudahan pemotongan pula. Secara garis besar, pengambilan sampel dilakukan pada daerah yang akan diamati mikrostruktur maupun makrostrukturnya (Devinta, 2010).

B. *Cutting* (pemotongan sampel)

Ada beberapa sistem pemotongan sampel berdasarkan media pemotong yang digunakan, yaitu meliputi proses pematahan, pengguntingan, penggergajian, pemotongan abrasi (*abrasive cutter*), gergaji kawat, dan EDM (*Electric Discharge Machining*). Berdasarkan tingkat deformasi yang dihasilkan, teknik pemotongan terbagi menjadi dua, yaitu:

- Teknik pemotongan dengan deformasi yang besar, menggunakan gerinda
- Teknik pemotongan dengan deformasi kecil, menggunakan *low speed*

Perlu diperhatikan juga bahwa dalam proses memotong, harus dicegah kemungkinan deformasi dan panas yang berlebihan. Oleh karena itu, setiap proses pemotongan harus diberi pendinginan yang memadai (Devinta, 2010).

C. *Mounting*

Spesimen yang berukuran kecil atau memiliki bentuk yang tidak beraturan akan sulit untuk ditangani khususnya ketika dilakukan pengamplasan dan pemolesan akhir. Sebagai contoh adalah spesimen yang berupa kawat, spesimen lembaran metal tipis, potongan yang tipis, dll. Untuk memudahkan penanganannya,

maka spesimen-spesimen tersebut harus ditempatkan pada suatu media (media *mounting*). Secara umum syarat-syarat yang harus dimiliki bahan *mounting* adalah:

1. Bersifat *inert* (tidak bereaksi dengan material maupun zat etsa)
2. Sifat eksotermis rendah
3. Viskositas rendah
4. Penyusutan linier rendah
5. Sifat adhesi baik
6. Memiliki kekerasan yang sama dengan sampel
7. *Flow* abilitas baik, dapat menembus pori, celah dan bentuk ketidakteraturan yang terdapat pada sampel
8. Khusus untuk etsa elektrolitik dan pengujian SEM, bahan *mounting* harus konduktif

Media *mounting* yang dipilih haruslah sesuai dengan material dan jenis reagen etsa yang akan digunakan. Pada umumnya *mounting* menggunakan material plastik sintetik. Materialnya dapat berupa resin (*castable resin*) yang dicampur dengan *hardener*, atau bakelit. Penggunaan *castable resin* lebih mudah dan alat yang digunakan lebih sederhana dibandingkan bakelit, karena tidak diperlukan aplikasi panas dan tekanan (Devinta, 2010).

D. Grinding (Pengamplasan)

Sampel yang baru saja dipotong, atau sampel yang telah terkorosi memiliki permukaan yang kasar. Permukaan yang kasar ini harus diratakan agar pengamatan struktur mudah untuk dilakukan. Pengamplasan dilakukan dengan menggunakan kertas amplas silikon karbit (SiC) dengan berbagai tingkat kekasaran yang ukuran butir abrasifnya dinyatakan dengan *grade*, yaitu kombinasi dari 80, 120, 150, 220, 330, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 1600 dan 2000. Ukuran *grade* pertama yang dipakai tergantung pada kekasaran permukaan dan kedalaman kerusakan yang ditimbulkan oleh pemotongan. Seperti perubahan struktur akibat panas yang timbul pada saat proses pemotongan dan perubahan bentuk sampel akibat beban alat potong (Devinta, 2010).

Hal yang harus diperhatikan pada saat pengamplasan adalah pemberian air. Air berfungsi sebagai pemindah geram, memperkecil kerusakan akibat panas yang timbul yang dapat merubah struktur mikro sampel dan memperpanjang masa

pemakaian kertas amplas. Hal lain yang harus diperhatikan adalah ketika melakukan perubahan arah pengamplasan, maka arah yang baru adalah 45° atau 90° terhadap arah sebelumnya (Devinta, 2010).

E. *Polishing*

Setelah diampelas sampai halus, sampel harus dilakukan pemolesan. Pemolesan bertujuan untuk memperoleh permukaan sampel yang halus bebasgoresan dan mengkilap seperti cermin dan menghilangkan ketidakteraturan sampel hingga orde $0.01 \mu\text{m}$. Permukaan sampel yang akan diamati di bawah mikroskop harus benar-benar rata. Apabila permukaan sampel kasar atau bergelombang, maka pengamatan struktur mikro akan sulit untuk dilakukan karena cahaya yang datang dari mikroskop dipantulkan secara acak oleh permukaan sampel (Devinta, 2010).

Tahap pemolesan dimulai dengan pemolesan kasar terlebih dahulu kemudian dilanjutkan dengan pemolesan halus. Ada 3 metode pemolesan antara lain yaitu sebagai berikut:

- **Pemolesan Elektrolit Kimia**

Hubungan rapat arus & tegangan bervariasi untuk larutan elektrolit dan material yang berbeda dimana untuk tegangan, terbentuk lapisan tipis pada permukaan, dan hampir tidak ada arus yang lewat, maka terjadi proses etsa. Sedangkan pada tegangan tinggi terjadi proses pemolesan (Devinta, 2010).

- **Pemolesan Kimia Mekanis**

Merupakan kombinasi antara etsa kimia dan pemolesan mekanis yang dilakukan serentak di atas piringan halus. Partikel pemoles abrasif dicampur dengan larutan pengetsa yang umum digunakan (Devinta, 2010).

- **Pemolesan Elektro Mekanis (Metode *Reinacher*)**

Merupakan kombinasi antara pemolesan elektrolit dan mekanis pada piring pemoles. Metode ini sangat baik untuk logam mulia, tembaga, kuningan, dan perunggu (Devinta, 2010).

F. *Etching (Etsa)*

Etsa merupakan proses penyerangan atau pengikisan batas butir secara selektif dan terkendali dengan pencelupan ke dalam larutan pengetsa baik menggunakan listrik maupun tidak ke permukaan sampel sehingga detail struktur

yang akan diamati akan terlihat dengan jelas dan tajam. Untuk beberapa material, mikrostruktur baru muncul jika diberikan zat etsa. Sehingga perlu pengetahuan yang tepat untuk memilih zat etsa yang tepat (Devinta, 2010).

- **Etsa Kimia**

Merupakan proses pengetsaan dengan menggunakan larutan kimia dimana zat etsa yang digunakan ini memiliki karakteristik tersendiri sehingga pemilihannya disesuaikan dengan sampel yang akan diamati. Contohnya antara lain: *nitrid acid* / nital (asam nitrit + alkohol 95%), picral (asam picric + alkohol), *ferric chloride*, *hydroflouric acid*, dan lainnya. Perlu diingat bahwa waktu etsa jangan terlalu lama (umumnya sekitar 4–30 detik), dan setelah dietsa, segera dicuci dengan air mengalir lalu dengan alkohol kemudian dikeringkan dengan alat pengering (Devinta, 2010).

- **Elektro Etsa (Etsa Elektrolitik)**

Merupakan proses etsa dengan menggunakan reaksi elektroetsa. Cara ini dilakukan dengan pengaturan tegangan dan kuat arus listrik serta waktu pengetsaan. Etsa jenis ini biasanya khusus untuk stainless steel karena dengan etsa kimia susah untuk medapatkan detil strukturnya (Devinta, 2010).

G. Observasi mikroskopis / makroskopis

Pengamatan dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik. Pengamatan ini dilakukan setelah pemolesan hingga tahap pencucian pun telah selesai. Dalam prosesnya kita mengamati gambaran topografi struktur mikro spesimen yang telah dipreparasi menggunakan mikroskop cahaya. Mikroskop cahaya menyediakan gambaran struktur dua-dimensional dengan perbesaran total dari 40x hingga 1250x. Dapat melihat butir, batas butir dan fasa pada spesimen (Smallman, 2000).

2.3.3 Pengujian Spektrometer

Spektrometer emisi adalah salah satu alat analisis kimia untuk penentuan unsur-unsur logam dalam suatu bahan padat masif logam maupun paduan logam, secara kualitatif maupun kuantitatif. Prinsip umum dari pengukuran ini adalah mengukur intensitas dari energi/radiasi yang dipancarkan dalam bentuk sinar oleh atom-atom yang mengalami perubahan tingkat energi elektron (eksitasi, de-eksitasi). Atom-atom tereksitasi dihasilkan dari proses pembakaran lokal pada permukaan bahan. Pembakaran lokal mengakibatkan molekul-molekul senyawa

menguap dan terurai menjadi atom-atom unsur yang bersangkutan. Pada keadaan ini, terjadi eksitasi elektron dari tingkat energi terendah ke tingkat energi yang lebih tinggi. Kemudian sambil kembali ke keadaan dasar elektron akan mengemisikan energi melalui pancaran sinar. Sinar yang dipancarkan memiliki energi tertentu yang merupakan karakteristik dari setiap unsur sehingga fenomena ini dijadikan metode untuk analisis kualitatif. Sedangkan intensitas sinar karakteristik tersebut sebanding dengan konsentrasi unsur yang bersangkutan dalam bahan yang sejenis. Hal ini digunakan sebagai dasar penentuan unsur secara kuantitatif dalam suatu bahan (Dian, 2005).

2.4 Peneleitian Terdahulu

Menurut Adi, 2010 menyatakan bahwa ketika baja S21C diproses *pack carburizing* dengan bahan utama tempurung arang kelapa tanpa *energizer* dengan variasi pemanasan *carburizing* 825°C, 870°C dan 910°C lalu diberi waktu penahanan selama 1 jam, kemudian didinginkan secara *quenching* dengan media air. Selanjutnya dilakukan proses *tempering* hingga temperatur 200°C kemudian ditahan hingga 20 menit lalu didinginkan pada udara bebas. Berikutnya dilakukan pengujian kekerasan, tarik dan struktur mikro. Kesimpulan yang diperoleh yaitu kenaikan nilai kekerasan pada temperatur 825°C, 870°C dan 910°C dengan kekerasan rata-rata sebesar 294,33, 333,67 dan 369,67 HB. Kekuatan tariknya sebesar 519,17 N/mm², 527,99 N/mm² dan 756,69 N/mm². Kemudian struktur mikronya yaitu terbentuk fasa perlit + martensit, bainit + martensit dan sementit + martensit.

Penelitian dilanjutkan oleh Alan Robbina, 2012 dengan variasi yang berbeda yaitu perbedaan katalis menyatakan bahwa ketika baja S45C diproses *pack carburizing* dengan bahan utama tempurung 75% arang batok kelapa dengan 25% *energizer* BaCO₃, K₂CO₃ dan Na₂CO₃ dengan pemanasan *carburizing* 900°C, lalu diberi waktu penahanan selama 4 jam, kemudian didinginkan secara *anealling* dengan oven. Diperoleh hasil bahwa kenaikan nilai kekerasan pada 25% *energizer* BaCO₃, K₂CO₃ dan Na₂CO₃ yaitu 218,7, 216,7 dan 217,9 kg/mm². Struktur mikronya pada 25% *energizer* BaCO₃ yaitu terdapat fasa martensit yang berbentuk jarum halus-halus sudah mendominasi. Lalu 25% *energizer* K₂CO₃ terlihat fasa

martensit namun masih terdapat ferit. Sedangkan 25% *energizer* Na_2CO terdapat fasa martensit berbentuk jarum-jarum mirip seperti 25% *energizer* BaCO_3 .

Sudah adanya variasi katalis yang dilakukan sebelumnya, Eddy Gunawan, 2017 melakukan penelitian dengan variasi menyatakan bahwa ketika baja St.41 diproses *pack carburizing* dengan bahan utama tempurung 75% arang batok kelapa dengan 25% *energizer* BaCO_3 , dengan pemanasan *carburizing* 650°C , 750°C dan 900°C lalu diberi waktu penahanan selama 30 menit, kemudian didinginkan secara *quenching* dengan media air. Diperoleh hasil bahwa kenaikan nilai kekerasan pada temperatur 650°C , 750°C dan 900°C yaitu kekerasan rata-rata sebesar 104,32, 200,8 dan 324 HV. Struktur mikronya pada temperatur 650°C , 750°C dan 900°C yaitu ferit relatif lebih banyak dibandingkan perlit, perlit relatif lebih banyak dibandingkan ferit dan fasa martensit karena pendifusian atom dari austenit ke martensit.

Beberapa variasi sudah digunakan pada penelitian *pack carburizing*. Wili Alfani, 2016 melakukan penelitian dengan *energizer* CaCO_3 yang belum pernah dilakukan sebelumnya menyatakan bahwa ketika baja St.41 diproses *pack carburizing* dengan bahan utama tempurung 70% arang batok kelapa dengan 30% *energizer* CaCO_3 , dengan variasi pemanasan *carburizing* 850°C , 900°C dan 950°C lalu diberi waktu penahanan selama 30 menit, kemudian didinginkan secara *quenching* dengan media air. Diperoleh hasil bahwa nilai keausan material sebelum di uji yaitu $3.27 \times 10^{-6} \text{mm}^2/\text{kg}$ kemudian setelah dilakukan *carburizing* yaitu 1.87×10^{-6} , 1.44×10^{-6} , dan $1.83 \times 10^{-6} \text{mm}^2/\text{kg}$.

Sedangkan Woro, 2014 melakukan penelitian perlakuan panas pada pada side frame dengan material baja AAR M201 Grade B+ dengan variasi *normalizing*. Penelitian ini dilakukan dengan cara perlakuan panas pada side frame pada temperatur 940°C waktu penahanan selama 4 jam dengan variasi 1x, 2x, 3x, 4x, 5x *normalizing*. Pendinginan yang diberikan adalah dengan menggunakan udara luar $\pm 32^\circ\text{C}$. Setelah proses *normalizing* pada semua spesimen dilakukan pengujian kekerasan brinell. Diperoleh nilai kekerasan brinell pada spesimen tanpa *normalizing* adalah 209 BHN, 1x *normalizing* adalah 163 BHN, 2x *normalizing* adalah 159 BHN, 3x *normalizing* adalah 158 BHN, 4x *normalizing* adalah 152 BHN, dan 5x *normalizing* adalah 144 BHN. Pada penelitian ini, pengulangan *heat*

treatment normalizing juga mempengaruhi penurunan pada sifat kekerasan baja. Sehingga pemberian panas secara berulang dapat mengakibatkan material menjadi lebih lunak.

www.itk.ac.id



www.itk.ac.id