

II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab II menjelaskan tentang beberapa konsep dasar teori yang mendukung topik penelitian. Pembahasan dimulai dengan penjelasan mengenai baja, pengaruh unsur paduan pada baja, baja pegas daun, diagram fasa Fe-C, perlakuan panas pada baja, proses pendinginan pada baja, waktu penahanan, pengujian sifat fisik baja (komposisi kimia dan struktur mikro) serta pengujian sifat mekanik baja (uji kekerasan).

2.1 Baja

2.1.1 Definisi Baja

Baja adalah salah satu logam ferro yang banyak digunakan dalam dunia teknik dan industri. Baja terdiri dari kandungan besi dan karbon, dimana kandungan besi (Fe) pada baja sekitar 97% dan karbon (C) sekitar 0,2% hingga 2,1% berat sesuai *gradenya*. Kandungan karbon pada baja umumnya tidak lebih dari 1 % karbon (C). Disamping unsur besi (Fe) dan karbon (C), baja juga mengandung unsur campuran lain seperti mangan (Mn) dengan kadar maksimal 1,65%, silikon (Si) dengan kadar maksimal 0,6%, tembaga (Cu) dengan kadar maksimal 0,6%, sulfur (S), fosfor (P) dan lainnya dengan jumlah yang dibatasi dan berbeda-beda (Wulandari, 2011).

2.1.2 Klasifikasi Baja

Untuk mempelajari baja pada ilmu logam akan lebih mudah bila baja diklasifikasikan menurut komposisi kimianya, struktur, jumlah komponen dan keperluannya. Menurut komposisi kimianya, baja dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu: Baja karbon dan baja paduan. Adapun pengklasifikasian baja secara lengkap dapat dilihat pada keterangan berikut ini:

1. Menurut komposisi kimianya

a. Baja karbon

Baja karbon terdiri dari besi dan karbon. Baja karbon merupakan baja yang mengandung karbon antara 0,3% sampai 1,7%. Pada umumnya sebagian besar baja hanya mengandung karbon dengan sedikit unsur paduan lainnya. Baja karbon disebut juga baja mesin karena mengandung sejumlah elemen atau unsur seperti mangan, fosfor, silikon dan lain sebagainya (Zainuri, 2007). Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi ke dalam tiga macam yaitu:

- Baja karbon rendah (*low carbon steel*)

Baja karbon rendah merupakan baja yang mengandung karbon kurang dari 0,3% C. Baja karbon rendah mudah *dimachining* dan dilas, serta memiliki keuletan dan ketangguhan sangat tinggi tetapi kekerasannya rendah dan tahan aus. Baja karbon rendah sering digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan komponen bodi mobil, struktur bangunan, pipa gedung, jembatan, kaleng, pagar dan lain-lain.

- Baja karbon sedang (*medium carbon steel*)

Baja karbon sedang merupakan baja yang mengandung karbon 0,3 %-0,6%

karbon. Baja karbon sedang memiliki kekerasan lebih tinggi dari pada baja karbon rendah. Kekuatan tarik dan batas regang yang tinggi, tidak mudah dibentuk oleh mesin. Baja karbon sedang banyak digunakan untuk poros, rel kereta api, roda gigi, pegas, baut dan lain-lain.

- Baja karbon tinggi (*high carbon steel*)

Baja karbon tinggi merupakan baja yang mengandung 0,6%-1,7% C. Baja karbon tinggi memiliki kekerasan tinggi, tetapi keuletannya lebih rendah. Baja karbon tinggi mempunyai kuat tarik paling tinggi dan banyak digunakan untuk material *tools*. Baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas dan alat-alat perkakas seperti palu, gergaji, atau pahat potong dan lainnya (ASM handbook , 1993).

b. Baja paduan

Baja paduan merupakan suatu baja karbon yang telah ditambahkan satu atau lebih unsur-unsur tambahan ke dalamnya untuk menghasilkan sifat-sifat yang dikehendaki, yang tidak dimiliki oleh baja karbon. Logam paduan yang umumnya digunakan adalah nikel, mangan dan *chrom*. Berdasarkan kadar paduannya, baja paduan dibagi menjadi tiga macam yaitu:

- Baja paduan rendah (*low alloy steel*)

Baja paduan rendah merupakan baja paduan dengan kadar unsur paduan rendah. Biasanya baja jenis ini memiliki paduan kurang dari 10%. Baja ini biasanya digunakan untuk perkakas seperti pahat kayu, poros, dan gergaji.

- Baja paduan menengah (*medium alloy steel*)

Baja paduan menengah merupakan baja dengan paduan elemen 2,5 %-10 %.

Adapun unsur-unsur yang terdapat pada baja tersebut misalnya seperti unsur

Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

- *Baja paduan tinggi (high alloy steel)*

Baja paduan tinggi merupakan baja paduan dengan kadar unsur paduan lebih dari 10% wt. Adapun unsur-unsur yang terdapat pada baja tersebut misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P (Mulyanti, 1996).

2. Menurut strukturnya

Menurut strukturnya, baja dapat dibagi menjadi tiga kategori umum yaitu:

- Struktur rangka (*framed structure*), dimana elemennya kemungkinan terdiri dari batang-batang tarik, balok dan batang-batang yang mendapatkan beban lentur kombinasi dan beban aksial.
- Struktur tipe cangkang (*shell type structure*), dimana tegangan aksial lebih dominan.
- Struktur tipe suspensi (*suspension type structure*), dimana tarikan aksial lebih mendominasi sistem pendukung utamanya (Anonymous A, 2012).

3. Menurut jumlah komponennya

Adapun pembagian baja menurut jumlah komponennya adalah sebagai berikut:

- Baja tiga komponen, merupakan suatu baja yang terdiri dari satu unsur padu dalam penambahan Fe dan C.
- Baja empat komponen atau lebih, merupakan baja yang terdiri dari dua unsur atau lebih padu dalam penambahan Fe dan C. Sebagai contoh yaitu baja paduan yang terdiri dari 0,35 % C, 1 % Cr, 3 % Ni dan 1 % Mo.

4. Menurut keperluannya

Menurut penggunaan atau keperluannya masing-masing baja diklasifikasikan sebagai berikut:

- a. Menurut cara pembuatannya yaitu baja bessemer, baja siemens- martin (*open hearth*), baja listrik, dan lain-lain.
- b. Menurut penggunaannya yaitu baja konstruksi, baja mesin, baja pegas, baja ketel, baja perkakas dan lain-lain.
- c. Menurut kekuatannya yaitu baja kekuatan rendah dan baja kekuatan tinggi.
- d. Menurut struktur mikronya yaitu baja *eutektoid*, baja *hypoeutektoid*, baja *hypereutektoid*, baja austenitik, baja martensitik, dan lain-lain.
- e. Menurut komposisi kimianya yaitu baja karbon, baja paduan rendah, baja paduan tinggi (*American Society for Metals Park, Ohio, 1965*).

2.1.3 Sifat-sifat Baja

Baja memiliki 2 sifat yang sangat penting untuk dikaji dan dipelajari yaitu: sifat mekanik dan sifat fisik. Adapun penjelasan mengenai sifat mekanik dan sifat fisik dari baja adalah sebagai berikut:

1. Sifat mekanik baja

Sifat mekanik suatu bahan adalah kemampuan bahan untuk menahan beban-beban dinamis maupun statis yang dikenakan padanya dan mempertahankan diri dari gaya-gaya luar yang mempengaruhinya (Karmin dan Muchtar, 2012).

Berikut beberapa sifat mekanik bahan dijelaskan sebagai berikut:

- a. Keliatan (*ductility*) adalah sifat dari suatu bahan liat yang mempunyai gaya regangan (*tensile strain*) relatif besar sampai dengan titik kerusakan, yang memungkinkannya dibentuk secara permanen.
- b. Ketangguhan (*thoughness*) adalah sifat suatu bahan yang menunjukkan besarnya energi yang dibutuhkan untuk mematahkan bahan. Dimana kemampuan bahan ini juga dapat menyerap energi sampai patah.

- c. Kekuatan tarik (*tensile test*) adalah kekuatan tarik dari suatu bahan ditetapkan dengan membagi gaya maksimum dengan luas penampang mula. Setelah titik luluh, tegangan terus naik dengan berlanjutnya deformasi plastis sampai titik maksimum dan kemudian menurun sampai akhirnya patah.

Sifat mekanik baja dipengaruhi oleh bagaimana cara mengadakan ikatan karbon dengan besi. Pada prosesnya, terdapat 2 bentuk utama kristal saat karbon mengadakan ikatan dengan besi. Adapun 2 bentuk utama dari kristal tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Ferit, yaitu besi murni (Fe) terletak rapat saling berdekatan tidak teratur, baik bentuk maupun besarnya. Ferit merupakan bagian baja yang paling lunak, ferit murni tidak akan cocok digunakan sebagai bahan untuk benda kerja yang menahan beban karena kekuatannya kecil.
- b. Perlit, merupakan campuran antara ferrit dan sementit dengan kandungan karbon sebesar 0,8%. Struktur perlitis mempunyai kristal ferrit tersendiri dari serpihan sementit halus yang saling berdampingan dalam lapisan tipis mirip lamel (Schonmetz, 1985).

2. Sifat fisik baja

Sifat fisik suatu bahan adalah sifat suatu bahan yang berhubungan dengan struktur atomnya. Adapun penjelasan dari sifat fisik baja ini adalah sebagai berikut:

- a. Komposisi kimia

Baja memiliki kandungan unsur-unsur didalamnya dengan presentase yang berbeda-beda. Oleh sebab itu, untuk mengetahui kandungan unsur kimia yang terdapat pada logam atau baja dari suatu benda uji, perlu dilakukannya

uji komposisi kimia. Biasanya uji komposisi kimia juga dilakukan pada saat kita akan memulai suatu penelitian. Hal tersebut dimaksudkan agar sebelum melakukan suatu penelitian, kita sudah terlebih dahulu mengetahui klasifikasi dari baja atau spesimen yang akan kita gunakan tersebut. Alat yang digunakan untuk uji komposisi kimia biasanya adalah *Optical Emission Spectroscopy* (OES). *Optical Emission Spectroscopy* (OES) merupakan suatu alat yang mampu menganalisa unsur-unsur logam induk dan campurannya dengan akurat, cepat dan mudah dioperasikan.

b. Struktur mikro

Selain komposisi kimia, terdapat pula struktur mikro. Struktur mikro bertujuan untuk mengetahui susunan fasa pada suatu benda uji atau spesimen. Struktur mikro dan sifat paduannya dapat diamati dengan berbagai cara, salah satunya yaitu dengan cara mengamati struktur suatu bahan yaitu dengan teknik metalografi (pengujian mikroskopik). Alat mikroskop mikro yang digunakan biasanya yaitu mikroskop optik (Yogantoro, 2010).

2.2 Pengaruh Unsur Paduan pada Baja

Pengaruh unsur paduan pada baja merupakan salah satu hal yang sangat penting. Pada baja karbon selain unsur besi dan karbon, terdapat pula kandungan unsur lainnya dengan persentase yang berbeda-beda sesuai dengan jenis baja yang digunakan pada saat melakukan penelitian. Biasanya unsur paduan sengaja ditambahkan ke dalam baja dengan tujuan untuk mencapai salah satu dari tujuan seperti menaikkan *hardenability*, memperbaiki kekuatan pada suhu biasa, memperbaiki sifat mekanik pada suhu rendah atau tinggi, dan memperbaiki

ketangguhan pada tingkat kekuatan atau kekerasan tertentu serta menaikkan sifat tahan aus, menaikkan sifat tahan korosi, dan menaikkan sifat kemagnetan (Widyatmadji, 2001).

Pengaruh unsur-unsur paduan dalam baja adalah sebagai berikut:

1. Unsur Karbon (C)

Karbon merupakan unsur yang paling banyak selain besi (Fe) yang terdapat pada sebuah baja, unsur ini berfungsi meningkatkan sifat mekanik baja seperti kekuatan dan kekerasan yang tinggi meskipun demikian karbon juga dapat menurunkan keuletan, ketangguhan, serta berpengaruh juga terhadap pengolahan baja selanjutnya seperti pada proses perlakuan panas, proses pengubahan bentuk dan lainnya. Kandungan karbon di dalam baja berkisar antara 0,1%-1,7%.

2. Unsur Mangan (Mn)

Mangan sangat dibutuhkan dalam proses pembuatan baja. Kandungan mangan lebih kurang 0,6%. Penambahan unsur mangan dalam baja dapat menaikkan kuat tarik tanpa mengurangi atau sedikit mengurangi regangan, sehingga baja dengan penambahan mangan memiliki sifat kuat dan ulet.

3. Unsur Silikon (Si)

Silikon dalam baja dapat meningkatkan kekuatan, kekerasan, kekenyalan, ketahanan aus, dan ketahanan terhadap panas dan karat. Unsur silikon merupakan pembentuk ferit, tetapi bukan pembentuk karbida. Silikon cenderung membentuk partikel oksida sehingga memperbanyak pengintian kristal dan mengurangi pertumbuhan akibatnya struktur butir semakin halus.

4. Unsur Nikel (Ni)

Nikel mempunyai pengaruh yang sama seperti mangan, yaitu memperbaiki kekuatan tarik dan menaikkan sifat ulet, tahan panas, jika pada baja paduan terdapat unsur nikel sekitar 25 % maka baja tahan terhadap korosi. Unsur nikel yang bertindak sebagai tahan karat (korosi) disebabkan nikel bertindak sebagai lapisan penghalang yang melindungi permukaan baja.

5. Unsur *Chrom* (Cr)

Chrom merupakan unsur paduan setelah karbon. *Chrom* dapat membentuk karbida. *Chrom* digunakan untuk meningkatkan kekerasan baja, kekuatan tarik, ketangguhan, ketahanan abrasi, korosi dan tahan terhadap suhu tinggi. Penambahan *chrom* pada baja menghasilkan struktur yang lebih halus dan membuat sifat baja dikeraskan lebih baik (Amanto, 1999).

Selain unsur-unsur paduan seperti yang terdapat diatas, berdasarkan fungsinya unsur paduan pada baja dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis unsur paduan. Berikut adalah kelompok unsur paduan sesuai dengan fungsinya adalah sebagai berikut:

1. Ferit yang stabil (*ferrite stabilizer*)

Ferit yang stabil (*ferrite stabilizer*) merupakan unsur paduan yang membuat ferit menjadi lebih stabil sampai ke temperatur yang lebih tinggi. Unsur paduan yang termasuk ke dalam kelompok ini adalah Cr, Si, Mo, W dan Al kecuali Ni dan Mn.

2. Austenit yang stabil (*austenite stabilizer*)

Austenit yang stabil (*austenite stabilizer*) merupakan unsur paduan yang membuat austenit menjadi lebih stabil pada temperatur yang lebih rendah. Unsur yang terpenting dalam kelompok ini adalah Ni dan Mn.

3. Senyawa pembentuk karbida (*carbide forming elements*)

Senyawa pembentuk karbida (*carbide forming elements*) merupakan unsur paduan yang di dalam baja dapat membentuk karbida. Adanya karbida ini akan menaikkan sifat tahan aus biasanya *alloy tool steel* mengandung unsur pembentuk karbida dengan kadar yang cukup tinggi. Unsur yang terpenting di dalam kelompok ini adalah Cr, W, Mo, V, Ti, Nb, Ta, dan Zr.

4. Carbida yang stabil (*carbide stabilizer*)

Carbida yang stabil (*carbide stabilizer*) merupakan unsur paduan yang membuat karbida menjadi lebih stabil, tidak mudah terurai, dan larut ke dalam suatu fasa. Unsur paduan yang penting dalam kelompok ini adalah Co, Ni, W, Mo, Mn, Cr, V Ti, Nb, dan Ta.

5. Senyawa pembentuk nitrida (*nitride forming elements*)

Senyawa pembentuk nitrida (*nitride forming elements*) merupakan unsur yang dapat membentuk nitrida. Al dan Ti memiliki pengaruh paling kuat untuk menaikkan kekerasan setelah nitriding (Widyatmadji, 2001).

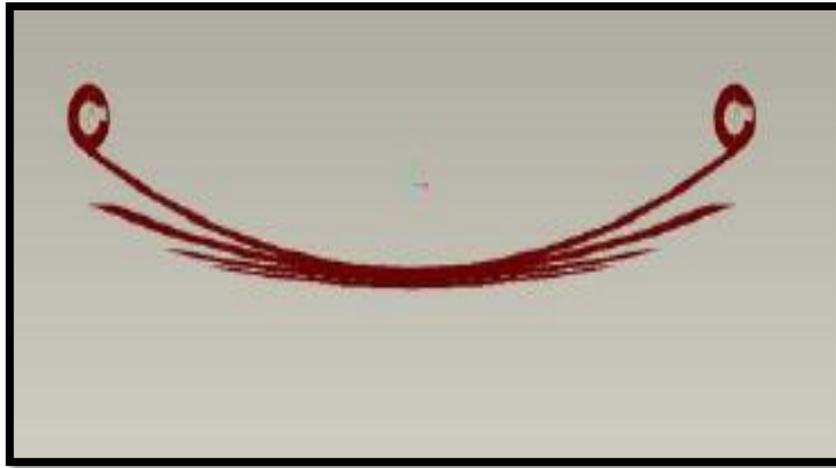
2.3 Baja Pegas Daun

2.3.1 Definisi Baja Pegas Daun

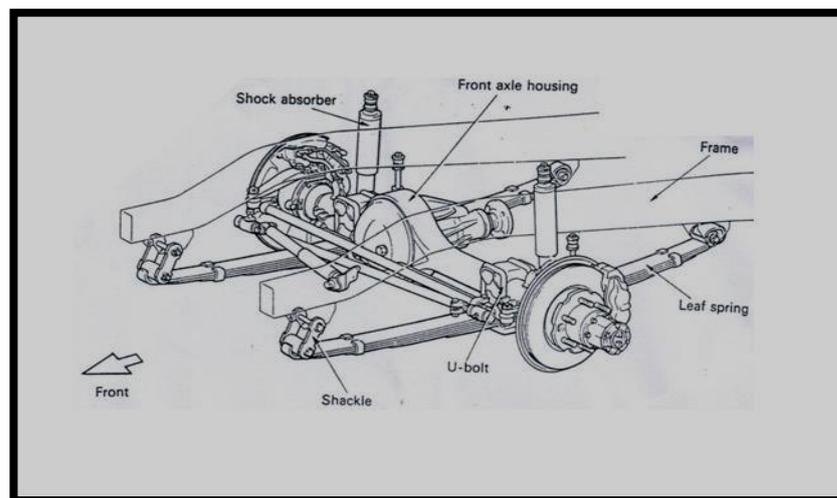
Baja pegas daun merupakan baja karbon yang sering digunakan pada kendaraan, darat terutama kendaraan roda empat. Penggunaan pegas daun sebagai suspensi

kendaraan untuk transportasi darat masih relevan eksistensinya yang mana hampir 85% suspensi untuk kendaraan mobil, khususnya truck masih menggunakan model suspensi pegas daun sebagai komponen utamanya (Fu, 2002). Baja pegas daun terdiri dari kandungan besi (Fe) sekitar 97% dan kandungan karbon antara 0,3%-0,6% C. Disamping unsur besi (Fe) dan karbon (C), baja pegas daun juga mengandung unsur campuran lain seperti Si, S, P, Mn, Ni, Cr, Mo, V, Ti, Sn, Al, Pb, Sb, Cu, W dan Zn dengan jumlah presentase yang dibatasi dan berbeda-beda.

Baja pegas daun dikenal sebagai baja pelat datar yang dibuat melengkung. Baja pegas daun dirancang dengan dua cara yaitu: multi-daun dan mono-daun. Fungsi dari baja pegas daun yaitu: membawa beban, untuk meredam getaran atau guncangan yang ditimbulkan oleh eksitasi-eksitasi gaya luar pada kendaraan, melunakkan tumbukkan dengan memanfaatkan sifat elastisitas bahan, menyerap dan menyimpan energi dalam waktu yang singkat dan mengeluarkannya kembali dalam waktu yang panjang serta berguna untuk menambah daya cengkeram ban terhadap permukaan jalan (Venkatesan and Devaraj, 2012). Adapun contoh gambar baja pegas daun dan penggunaannya pada suspensi kendaraan roda empat diperlihatkan pada Gambar 1 dan 2 berikut.



Gambar 1. Baja pegas daun (Venkatesan and Devaraj, 2012).



Gambar 2. Baja pegas daun kendaraan roda empat (anonymous B, 2012).

2.3.2 Kelebihan dan Kelemahan Baja Pegas Daun

Berdasarkan penggunaannya sehari-hari, baja pegas daun memiliki beberapa kelebihan dan kelemahan. Adapun kelebihan dan kelemahan dari baja pegas daun adalah sebagai berikut:

1. Kelebihan baja pegas daun:

- a. Baja pegas daun memiliki konstruksi yang sederhana.
- b. Pada baja pegas daun saat bekerja, gesekan antar lembaran per daun dapat berfungsi sebagai gaya peredam (*damping force*).
- c. Saat per patah, hanya perlu mengganti lembaran per yang patah saja.
- d. Baja pegas daun kaku terhadap gaya kesamping.
- e. Untuk kendaraan penumpang dapat memainkan kombinasi panjang per dan jumlah per untuk mendapat ayunan yang ringan.

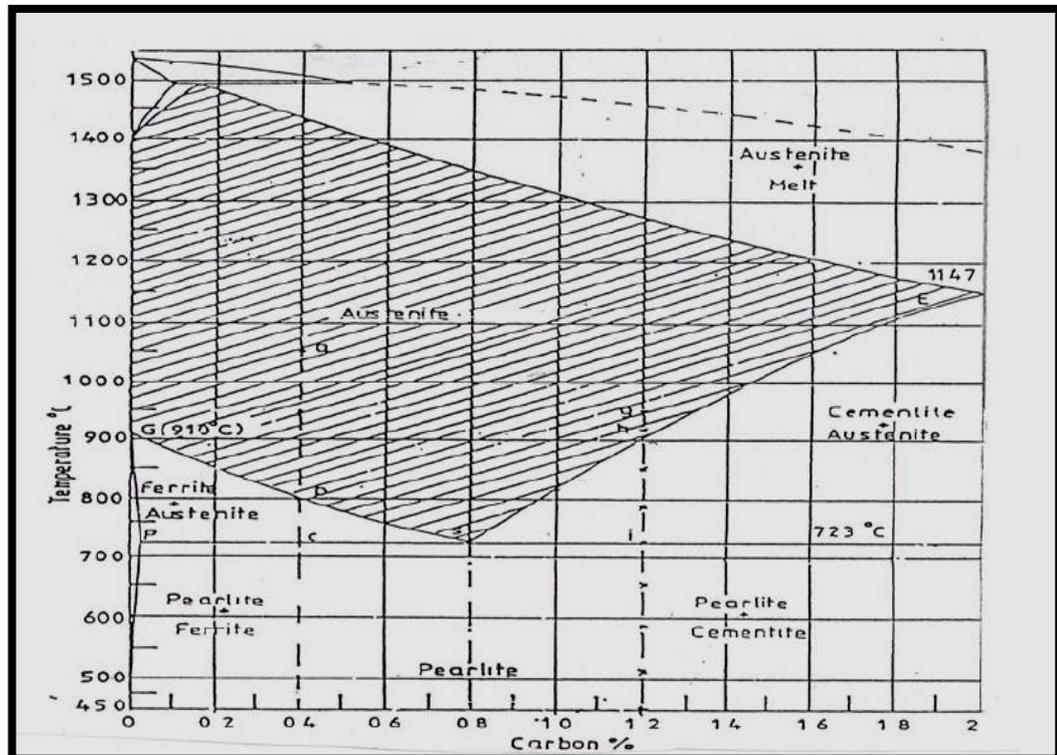
2. Kelemahan baja pegas daun:

- a. Baja pegas daun memiliki bobot yang cukup berat.
- b. Baja pegas daun kurang baik dalam menyerap getaran yang memiliki frekuensi tinggi, misal jalan bergelombang dalam kecepatan tinggi (Anonymous C, 2012).

2.4 Diagram Fasa Fe-C

Diagram keseimbangan fasa Fe-C merupakan salah satu metode yang sangat penting di dalam mempelajari ilmu logam. Melalui diagram fasa ini, kita dapat menggambarkan perubahan-perubahan fasa yang terjadi pada baja. Konsep dasar dari diagram fasa adalah mempelajari bagaimana hubungan antara besi dan paduannya dalam keadaan setimbang. Hubungan ini dinyatakan dalam suhu dan komposisi, dimana setiap perubahan komposisi dan perubahan suhu akan mempengaruhi struktur mikronya (ASM *handbook*, 1991). Melalui diagram fasa ini juga, kita dapat menentukan 3 jenis baja berdasarkan kadar kaerbonnya yaitu *eutectoid* (E): baja dengan $C = 0,8\%$, *hipoeutectoid* (A): baja dengan $C < 0,8\%$

dan *hypereutectoid* (B): baja dengan $C > 0,8$ (De Garmo, 1969), seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Diagram Fe-C/fasa (Suratman,1994).

Beberapa fasa yang sering ditemukan dalam baja karbon:

1. Austenit

Austenit merupakan campuran Fe (besi) dan C (karbon) yang terbentuk pada pembekuan, pada proses pendinginan. Selanjutnya austenit berubah menjadi ferit dan perlit serta sementit. Sifat austenit adalah lunak, lentur dengan keliatan tinggi.

Kadar karbon maksimum sebesar 2,14%.

2. Ferit

Fasa ini disebut alpha (α). Ruang antar atomnya kecil dan rapat sehingga hanya sedikit menampung atom karbon. Oleh sebab itu daya larut karbon dalam ferit rendah < 1 atom C per 1000 atom besi. Pada suhu ruang, kadar karbonnya 0,008%, sehingga dapat dianggap besi murni. Kadar maksimum karbon sebesar 0,025% pada suhu 723 °C. Ferit bersifat magnetik sampai suhu 768 °C. Ferit lunak dan liat. Kekerasan dari ferit umumnya berkisar antara 140-180 HVN.

3. Perlit

Fasa ini merupakan campuran mekanis yang terdiri dari dua fasa, yaitu ferit dengan kadar karbon 0,025% dan sementit dalam bentuk lamellar (lapisan) dengan kadar karbon 6,67% yang berselang-seling rapat terletak bersebelahan. Jadi perlit merupakan struktur mikro dari reaksi *eutektoid lamellar*. Kekerasan dari perlit kurang lebih berkisar antara 180-250 HVN.

4. Bainit

Bainit merupakan fasa yang terjadi akibat transformasi pendinginan yang sangat cepat pada fasa austenit ke suhu antara 250 °C-550 °C dan ditahan pada suhu tersebut (isothermal). Bainit adalah struktur mikro dari reaksi eutektoid ($\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$) non-lamellar (tidak berupa lapisan). Bainit merupakan struktur mikro campuran fasa ferit dan sementit (Fe_3C). Kekerasan bainit kurang lebih berkisar antara 300-400 HVN.

5. Martensit

Martensit merupakan fasa dimana ferit dan sementit bercampur, tetapi bukan dalam lamellar, melainkan jarum-jarum sementit. Fasa ini terbentuk dari austenit

meta stabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat tertentu. Martensit terbentuk jika kadar C dalam baja sampai 0,6% sedangkan di atas 1% C akan terbentuk martensit pelat (*plate* martensit). Perubahan dari tipe bilah ke pelat terjadi pada interval $0,6\% < C < 1,08\%$. Kekerasan dari martensit > 500 HVN.

6. Sementit

Pada paduan besi melebihi batas daya larut membentuk fasa kedua yang disebut karbida besi (sementit). Karbida besi mempunyai komposisi kimia Fe_3C . Sementit sangat keras. Karbida besi dalam ferit akan meningkatkan kekerasan baja. Akan tetapi karbida besi murni tidak liat, karbida ini tidak dapat menyesuaikan diri dengan adanya konsentrasi tegangan, oleh karena itu kurang kuat. Kekerasan sementit adalah 800 HVN (Yogantoro, 2010).

2.5 Perlakuan Panas

2.5.1 Definisi Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Perlakuan panas (*heat treatment*) merupakan kombinasi suatu proses pemanasan dan pendinginan yang dilakukan secara terkontrol yang diterapkan pada logam tertentu atau paduan dalam keadaan padat untuk mendapatkan struktur mikro dan sifat-sifat mekanik tertentu sesuai dengan yang diinginkan (Fadare *et al*, 2011). Pada perlakuan panas baja, struktur mikro memegang peranan yang cukup penting. Karena perubahan yang terjadi pada struktur mikro selama pemanasan dan pendinginan akan mempengaruhi perubahan sifat pada baja tersebut (Mizhar dan Suherman, 2011).

2.5.2 Proses Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Proses perlakuan panas atau *heat treatment* dibedakan menjadi 2 macam yaitu, Perlakuan panas *equilibrium* yang merupakan proses perlakuan panas yang menghasilkan struktur yang *equilibrium*, contohnya: *annealing* dan *normalizing*. Serta perlakuan panas *non-equilibrium* yang menghasilkan struktur yang *non-equilibrium*, contohnya: *hardening*.

Berikut beberapa proses perlakuan panas (*heat treatment*) pada baja dijelaskan seperti di bawah ini:

1. *Full Annealing*

Proses *annealing* untuk baja *hypoeutektoid* dilakukan dengan memanaskan sampai suhu sedikit di atas suhu kritisnya A_3 dan ditahan beberapa saat pada suhu tersebut, kemudian didinginkan dengan laju pendinginan lambat di dalam dapur. Sifat baja hasil proses *annealing* adalah menjadi lebih lunak dan ulet.

2. *Normalizing*

Proses *normalizing* untuk baja *hypoeutektoid* dilakukan dengan memanaskan suhu sedikit di atas suhu *annealing* yaitu mencapai $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ di atas suhu kritis A_3 dengan laju pendinginan lebih cepat dari *annealing* yaitu pendinginan dengan udara terbuka. Hasil proses *normalizing* baja akan berbutir lebih halus, lebih homogen dan lebih keras dari hasil *annealing* (Wardoyo, 2005).

3. *Quenching*

Quenching merupakan suatu proses perlakuan panas terhadap baja, dimana proses ini dilakukan dengan memanaskan baja sampai suhu austenit dan dipertahankan dalam jangka waktu yang tertentu pada suhu austenit tersebut, lalu didinginkan secara cepat di dalam media pendingin berupa air, air + larutan garam, oli, larutan alkohol dan sebagainya. Pada umumnya baja yang telah mengalami proses

quenching memiliki kekerasan yang tinggi serata dapat mencapai kekerasan yang maksimum tetapi agak rapuh. Dengan adanya sifat yang rapuh, maka kita harus menguranginya dengan melakukan proses lebih lanjut seperti *tempering* (Mulyadi dan Sunitra, 2010).

4. *Hardening*

Hardening merupakan proses perlakuan panas baja, yang bertujuan untuk mendapatkan kekerasan alami dan maksimal dari baja sehingga baja memiliki sifat tahan aus yang tinggi (Haryadi, 2006).

2.5.3 Suhu Austenisasi

Suhu austenit merupakan suhu yang sangat penting di dalam perlakuan panas. Pada baja karbon, suhu austenit biasanya di antara suhu 30-50 °C di atas suhu kritis A_3 untuk baja *hypoeutectoid* dan 30-50 °C di atas suhu kritis A_1 untuk baja *hypereutectoid*. Agar mendapatkan martensit yang keras maka pada saat pemanasan harus terjadi struktur austenit yang dapat bertransformasi menjadi martensit. Bila pada saat pemanasan masih terdapat struktur lain setelah di-*quench* atau didinginkan akan diperoleh struktur yang tidak seluruhnya martensit, dan bila struktur itu ferit maka kekerasan yang dihasilkan tidak maksimal. Pedoman penentuan temperatur austenit selain sama dengan di atas juga dipengaruhi unsur paduan terhadap suhu austenit (A_1 dan A_3).

Suhu austenisasi yang dianjurkan untuk melakukan proses *hardening* adalah sekitar 25-50 °C di atas suhu kritis atas A_3 untuk baja *hypoeutektoid* dan 25-50 °C di atas suhu kritis bawah A_1 untuk baja *hypereutektoid*. Pemanasan yang hanya sampai antara suhu A_1 dan A_3 memang sudah menghasilkan austenit, tetapi masih

terdapat ferit yang apabila didinginkan kembali ferrit tersebut masih tetap berupa ferit yang lunak (Sidney, 1992).

2.5.4 Homogenitas Austenit

Pada pemanasan yang lebih cepat, difusi yang terjadi umumnya belum sempurna, sehingga keadaan yang homogen masih belum tercapai. Apabila austenit yang belum homogen tersebut didinginkan secara cepat atau *quenching* maka akan diperoleh martensit dengan kekerasan yang berbeda. Untuk membuat austenit menjadi lebih homogen, pada saat pemanasan perlu diberi waktu penahanan (*holding time*) yang cukup. Hal tersebut agar adanya kesempatan kepada atom-atom untuk berdifusi secara sempurna. Lama dan cepatnya waktu penahanan (*holding time*) tergantung pada laju pemanasan, dimana semakin tinggi laju pemanasan maka semakin panjang waktu penahanan (*holding time*) yang harus diberikan. Pemanasan dengan menggunakan dapur listrik biasa tidak memerlukan waktu penahanan (*holding time*) yang lama, karena difusi sudah berlangsung cukup banyak selama pemanasan mendekati suhu austenisasi (George, 1986

2.5.5 Tempering

Proses *tempering* adalah pemanasan kembali hasil proses *hardening*. Perlakuan panas pada proses *tempering* dilakukan dengan memanaskan sampel kembali antara suhu 500-1000 °C di bawah temperatur kritis A_1 dan membiarkannya atau menahan suhu tersebut beberapa saat, kemudian didinginkan dengan pendinginan lambat yaitu pada media udara terbuka (Wardoyo, 2005). Hasil proses *tempering* berfungsi untuk menghilangkan tegangan sisa dan mengembalikan sebagian keuletan dan ketangguhan bahan secara bertahap meskipun kekerasannya menurun. Selain itu, mikrostruktur yang dihasilkan pada proses *tempering* berupa

bainit atau karbida yang mengendap dalam matriks ferit yang bergantung pada suhu *tempering* yang digunakan tersebut (Motagi and Bhosle, 2012).

Menurut tujuannya proses *tempering* dibedakan sebagai berikut:

a. *Tempering* pada suhu rendah (150-250 °C)

Tempering ini untuk mengurangi tegangan dan kerapuhan baja, biasanya untuk alat yang tidak mengalami beban berat seperti alat potong, mata bor dan lainnya.

b. *Tempering* pada suhu menengah (350-450 °C)

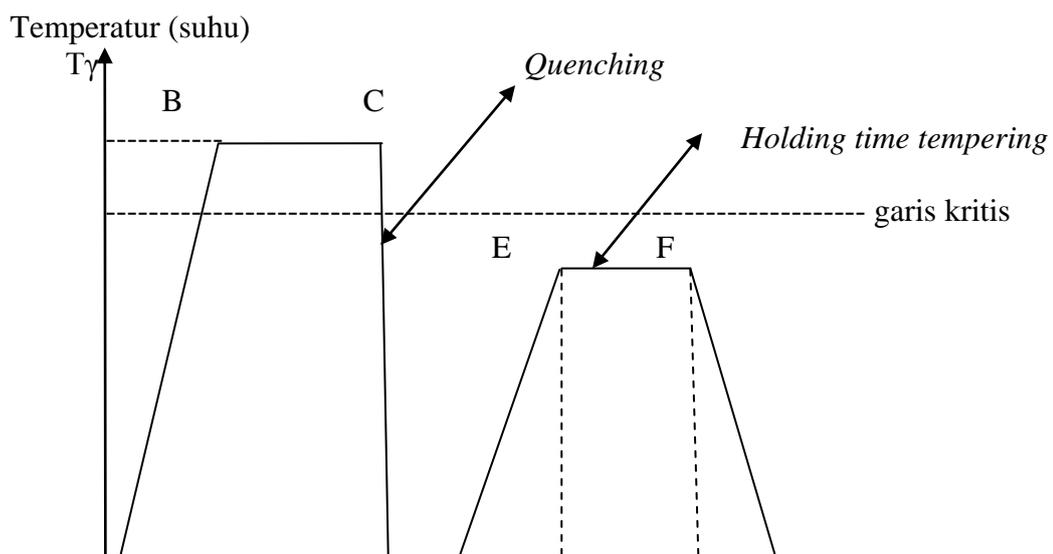
Tempering ini bertujuan menambah keuletan, dan kekerasannya sedikit berkurang.

Biasanya untuk alat yang mengalami beban berat seperti palu, pahat, dan pegas.

c. *Tempering* pada suhu tinggi (500-650 °C)

Tempering ini bertujuan untuk memberikan daya keuletan yang besar dan kekerasannya menjadi agak rendah, misalnya pada roda gigi, poros, batang penggerak dan sebagainya (Setiadji, 2007).

Proses perlakuan panas *tempering* biasanya juga digambarkan kedalam diagram perlakuan panas *tempering*. Gambar 4 menunjukkan diagram perlakuan panas *tempering*, dimana pada diagram pemanasan tersebut menunjukkan baja yang dipanaskan hingga mencapai suhu austenisasi (*hardening*) kemudian didinginkan secara cepat (*quenching*). Baja yang telah didinginkan secara *quenching* kemudian dilakukan pemanasan lanjutan yaitu pemanasan *tempering* dan disusul dengan pendinginan secara lambat (*normalizing*).





Gambar 4. Diagram *tempering* (Yogantoro, 2010).

Keterangan:

A-B-C-D = Proses *quenching*

D-E = Proses pemanasan awal hingga suhu di bawah kritis

E-F = Waktu tahan pada suhu isothermal

F-G = Proses pendinginan normal

2.6 Proses Pendinginan pada Baja

2.6.1 Metode Pendinginan Baja

Selain proses perlakuan panas atau *heat treatment*, pada baja juga biasanya dikenakan proses pendinginan baja. Proses pendinginan pada baja sendiri, terdiri dari 4 jenis proses pendinginan. Berikut proses pendinginan pada baja adalah sebagai berikut:

1. Pendinginan secara cepat (*quenching*)

Pada proses ini pendinginan yang dilakukan adalah berupa pendinginan cepat dari suhu austenit kedalam media pendingin (air, air garam, alkohol, oli atau minyak dan lain-lain).

2. Pendinginan tungku (*furnace*)

Pada proses ini pendinginan yang dilakukan adalah berupa pendinginan yang terjadi dari suhu austenit sampai suhu kamar, yang disebut proses *annealing*.

3. Pendinginan secara lambat (*normalizing*)

Pada proses ini pendinginan yang dilakukan adalah berupa pendinginan yang terjadi dari suhu austenit sampai mencapai temperatur kamar dan biasanya dilakukan dalam suhu udara terbuka.

4. Pendinginan tunda (*austempering*)

Pada proses ini pendinginan yang dilakukan adalah berupa pendinginan tunda dari suhu austenit mula-mula didinginkan cepat sampai mencapai suhu tertentu, ditahan kemudian didinginkan lagi di udara terbuka sampai mencapai suhu kamar.

2.6.2 Media Pendingin Baja

Kemampuan suatu jenis media dalam mendinginkan spesimen bisa berbeda-beda, perbedaan kemampuan media pendingin di sebabkan oleh suhu, kekentalan, kadar larutan dan bahan dasar media pendingin (Wibowo, 2006). Pada baja, kekuatan mekanik suatu baja dapat ditingkatkan dengan pendinginan dalam media yang sesuai dan tepat. Namun, faktor utama yang mempengaruhi dalam pemilihan media *quenching* atau pendinginan adalah jenis perlakuan panas, komposisi baja, ukuran dan bentuk dari bagian-bagiannya (Rassizadehghani *et al*, 2006).

Media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan baja bermacam-macam. Berbagai bahan pendingin yang digunakan dalam proses perlakuan panas antara lain:

1. Air

Pendinginan dengan menggunakan air akan memberikan daya pendinginan yang cepat. Biasanya ke dalam air tersebut dilarutkan garam dapur sebagai usaha mempercepat turunnya temperatur benda kerja dan mengakibatkan bahan menjadi keras.

2. Minyak

Minyak yang digunakan sebagai pendingin dalam perlakuan panas adalah yang dapat memberikan lapisan karbon pada permukaan benda kerja yang diberikan perlakuan panas. Selain minyak yang khusus digunakan sebagai bahan pendingin pada proses perlakuan panas, dapat juga digunakan minyak bakar atau solar.

3. Udara

Pendinginan udara dilakukan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat. Untuk keperluan tersebut udara yang disirkulasikan ke dalam ruangan pendingin dibuat dengan kecepatan yang rendah. Udara sebagai pendingin akan memberikan kesempatan kepada logam untuk membentuk kristal-kristal dan kemungkinan mengikat unsur-unsur lain dari udara.

4. Garam

Garam dipakai sebagai bahan pendingin disebabkan memiliki sifat mendinginkan yang teratur dan cepat. Bahan yang didinginkan di dalam cairan garam akan mengakibatkan ikatannya menjadi lebih keras karena pada permukaan benda kerja tersebut akan meningkat zat arang (Wibowo, 2006).

2.7 Waktu Penahanan (*Holding Time*)

Holding time merupakan waktu penahanan yang dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses hardening dengan menahan pada suhu pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen sehingga

struktur austenitnya homogen atau terjadi kelarutan karbida ke dalam austenit dan difusi karbon dan unsur paduannya. Pada baja umumnya perlu dilakukan waktu penahanan, karena pada saat austenit masih merupakan butiran halus dan kadar karbon serta unsur paduannya belum homogen dan terdapat karbida yang belum larut. Baja perlu ditahan pada suhu austenit untuk memberikan kesempatan larutnya karbida dan lebih homogenya austenit. Waktu penahanan suhu dapat dilakukan pada saat suhu dapur telah mencapai suhu panas yang dikehendaki guna memberi kesempatan penyempurnaan bentuk kristal yang terbentuk pada suhu transformasi. Tujuan waktu penahanan suhu untuk proses tempering adalah agar struktur mikro yang dicapai setelah proses temper akan lebih homogen (Nur dkk, 2005).

Pada pemanasan baja, berdasarkan jenis-jenis bajanya, pedoman waktu tahan pada proses *heat treatment* diklasifikasikan menjadi beberapa jenis. Berikut pembagiannya adalah sebagai berikut:

1. Baja konstruksi dari baja karbon dan baja paduan rendah yang mengandung karbida yang mudah larut, biasanya pada baja jenis ini diperlukan holding time atau waktu tahan yang singkat dan tidak terlalu lama yaitu 5-15 menit setelah suhu pemanasannya dianggap sudah memadai.
2. Baja konstruksi dari baja paduan menengah, biasanya pada baja jenis ini disarankan untuk menggunakan holding time 15-25 menit, tidak tergantung ukuran benda kerja.
3. Baja campuran rendah (*low alloy tool steel*), biasanya pada baja jenis ini diperlukan *holding time* yang tepat, agar kekerasan yang diinginkan pada baja

tersebut dapat tercapai. *Holding time* yang digunakan yaitu 0,5 menit per-milimeter tebal benda, atau 10 sampai 30 menit.

4. Baja krom campuran tinggi (*high alloy chrome steel*), biasanya pada baja jenis ini diperlukan holding time yang paling panjang di antara semua baja perkakas, dan juga tergantung pada suhu pemanasannya. Selain itu diperlukan kombinasi suhu dan waktu holding time yang tepat. Biasanya waktu *holding time* yang digunakan pada baja jenis ini yaitu 0,5 menit permilimeter tebal benda dengan minimum 10 menit dan maksimum 1 jam.
5. *Hot-Work Tool Steel*, biasanya pada baja jenis ini mengandung karbida yang sulit larut, dan baru akan larut pada suhu 1000 °C. Pada suhu ini kemungkinan terjadinya pertumbuhan butir sangat besar, karena itu holding time harus dibatasi yaitu berkisar antara 15-30 menit.
6. Baja kecepatan tinggi (*high speed steel*), biasanya pada baja jenis ini memerlukan suhu pemanasan yang sangat tinggi yaitu berkisar antara 1200-1300 °C. Dimana hal tersebut dilakukan untuk mencegah terjadinya pertumbuhan butir dan *holding time* diambil hanya beberapa menit saja (Dalil dkk, 1999).

2.8 Pengujian Sifat Fisik Baja

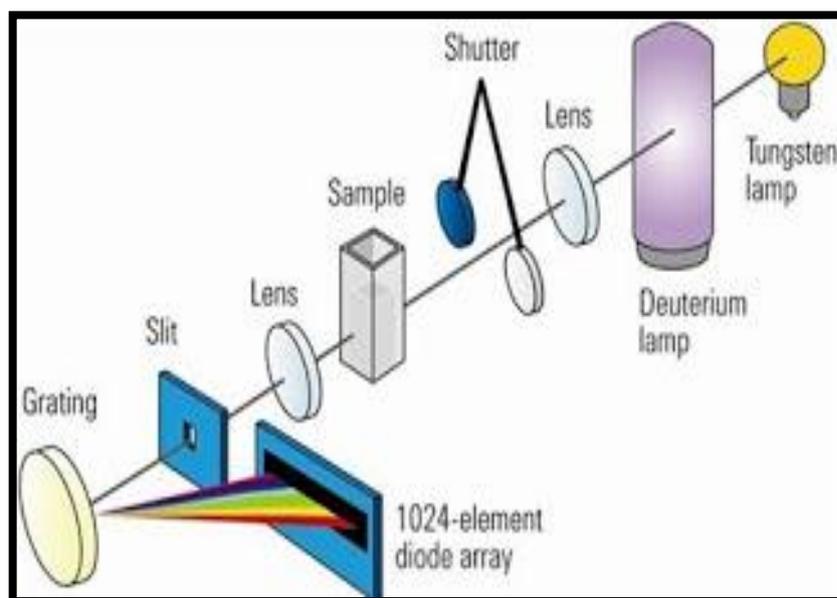
2.8.1 Komposisi Kimia

Baja pada dasarnya memiliki kandungan unsur-unsur dengan presentase yang berbeda-beda didalamnya. Komposisi Kimia merupakan suatu uji yang bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur kimia yang terdapat pada logam atau baja dari suatu benda uji. Biasanya uji komposisi kimia dilakukan pada saat kita akan memulai suatu penelitian. Hal tersebut dimaksudkan agar sebelum melakukan

suatu penelitian, kita sudah terlebih dahulu mengetahui klasifikasi dari baja atau spesimen yang akan kita gunakan tersebut. Pengujian komposisi kimia dilakukan dengan menggunakan mesin uji *Optical Emission Spectroscopy* (OES).

2.8.2 Prinsip Kerja *Optical Emission Spectroscopy* (OES)

Gambar 5 menunjukkan prinsip kerja alat uji komposisi kimia yaitu *Optical Emission Spectroscopy* (OES) yaitu pengujian sinar radioaktif dan gas argon ditembakkan terhadap sampel, kemudian dari hasil penembakan didapatkan print out hasil uji yang terbaca pada layar komputer. Analisis komposisi kimia ini dapat kita gunakan untuk mengetahui kadar karbon baja yang kita gunakan, apakah baja tersebut masuk dalam jenis baja karbon rendah (*low karbon steel*), baja karbon sedang (*medium carbon steel*), dan baja karbon tinggi (*high carbon steel*) atau malah masuk ke dalam kategori baja paduan.



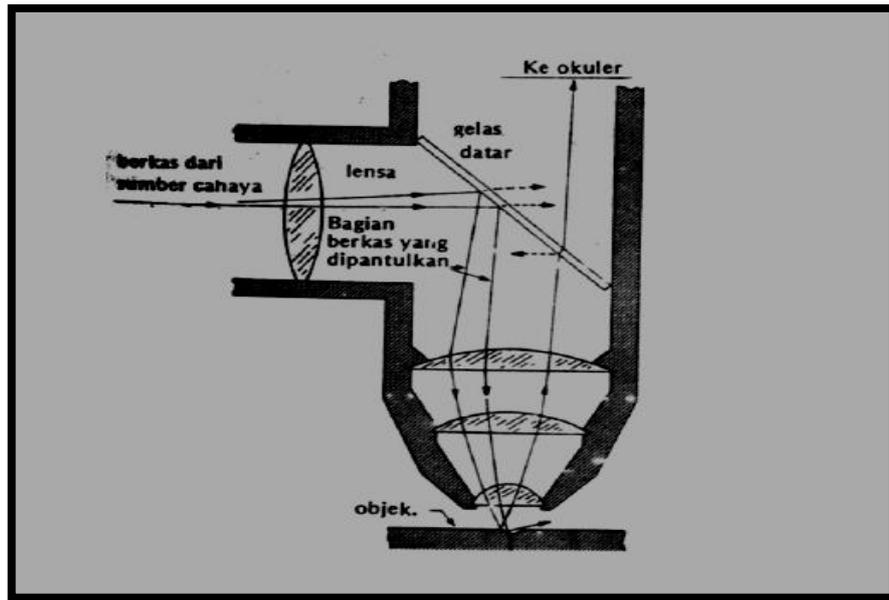
Gambar 5. Skema pengamatan uji komposisi kimia (Anonymous D, 2013).

2.8.3 Struktur Mikro

Uji struktur mikro bertujuan untuk melihat dan menganalisa jenis dan bentuk struktur mikro setelah mengalami proses perlakuan panas (*heat treatment*) agar dapat membandingkan struktur mikro antara sebelum dan sesudah dilakukannya perlakuan panas (*heat treatment*), sedang spesimen metalografi sama dengan untuk uji kekerasan dan alat pemeriksaannya memakai mikroskop optik dan stereoreo (Sardjono, 2009).

2.8.4 Prinsip Kerja Mikroskop Optik

Gambar 6 menunjukkan prinsip kerja dari alat uji struktur mikro (mikroskop optik) yaitu berkas horizontal cahaya dari sumber cahaya dipantulkan dengan memakai reflektor kemudian melalui lensa objektif sinar diteruskan ke atas permukaan sampel. Beberapa cahaya dipantulkan dari permukaan sampel akan diperbesar melalui lensa objektif dan okuler yang biasanya digambarkan pada puncak lensa yang terhubung dengan komputer ketika mengambil foto struktur mikro didapat hasil yang presisi (Fitri, 2012).



Gambar 6. Skema pengamatan struktur mikro dengan mikroskop optik (Van Vlack, 1992).

2.9 Pengujian Sifat Mekanik Baja

2.9.1 Pengujian Kekerasan (*Hardness Test*)

Pengujian kekerasan merupakan suatu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui harga kekerasan dari benda uji pada beberapa bagian sehingga dapat diketahui distribusi kekerasan serta kekerasan rata-ratanya dari semua benda uji. Kekerasan merupakan ketahanan bahan terhadap goresan atau penetrasi pada permukaannya.

Pada pengujian kekerasan logam, secara garis besar dibagi menjadi 3 metode pengujian kekerasan yaitu penekanan, goresan, dan dinamik. Proses pengujian yang mudah dan cepat dalam memperoleh angka kekerasan yaitu dengan metode penekanan. Pada prinsip kerja alatnya, terdapat tiga jenis metode penekanan yaitu: *rockwell*, *brinell*, dan *vickers* yang masing-masing memiliki perbedaan dalam cara menentukan angka kekerasannya. Metode *brinell* dan *vickers* menentukan angka

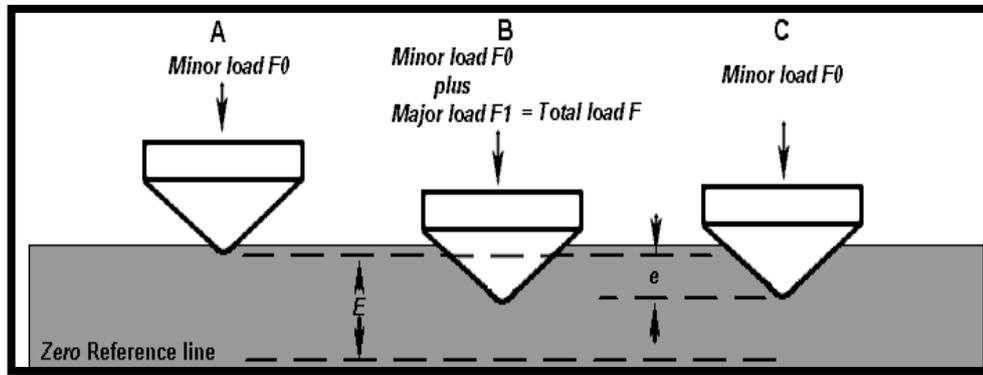
kekerasannya dengan menitikberatkan pada penghitungan kekuatan bahan terhadap daya luas penampang yang menerima pembebanan, sedangkan pada metode *rockwell* ditentukan dengan menitikberatkan pada kedalaman indentor pada benda uji (Miftakhuddin, 2006).

Prinsip pengujian kekerasan *brinell* sama dengan pengujian *vickers*, hanya saja perbedaan pokok terletak pada bentuk indentor yang ditekankan pada permukaan. Uji kekerasan *brinell* menggunakan indentor bola baja yang dikeraskan, sementara uji kekerasan *vickers* menggunakan indentor dimana piramida intan bersudut 136° (Asmara, 2005). Sedangkan Uji kekerasan *rockwell C* menggunakan indikator yang ditekankan pada permukaan berupa penetrator *speroconical diamond* (permata berbentuk kerucut).

2.9.2 Prinsip Kerja Metode Rockwell

Gambar 7 menunjukkan prinsip kerja pengujian kekerasan pada metode *rockwell* yaitu dengan menekan penetrator ke dalam benda kerja dengan pembebanan dan kedalaman indentasi yang dapat memberikan harga kekerasan yaitu perbedaan kedalaman indentasi yang didapatkan dari beban mayor dan minor. Uji kekerasan *rockwell C* menggunakan indikator yang ditekankan pada permukaan berupa penetrator *speroconical diamond* (permata berbentuk kerucut) dengan sudut 120° dengan beban minor 10 kg serta beban mayor 150 kg atau beban awal $F_0 = 10$ kg, beban tambahan $F_1 = 140$ kg, jadi beban total $F = 10 + 140 = 150$ kg. Metode *rockwell* sering dipakai karena kemudahannya yaitu dapat digunakan untuk mengukur benda kerja yang dikeraskan dan mesin uji kekerasan *rockwell* dapat memberikan harga kekerasan secara langsung atau digital tanpa menghitung dan

mengukur dari benda kerja yang dites pada penunjuk (indikator) sehingga membuat waktu pengujian relatif lebih cepat (Effendi, 2009).



Gambar 7. Skema uji kekerasan dengan menggunakan metode *rockwell* (Higgins, 1999).