

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Klasifikasi Baja

Baja merupakan paduan yang sebagian besar terdiri dari unsur besi dan karbon 0,2%-2,1% (Choudhury *et al.*, 2001). Selain itu juga mengandung unsur-unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan sebagainya. Namun unsur-unsur ini hanya dalam presentase kecil. Sifat baja karbon dipengaruhi oleh presentase karbon dan struktur mikro. Sedangkan struktur mikro pada baja karbon dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja. Karbon dengan campuran unsur lain dalam baja dapat meningkatkan nilai kekerasan, tahan gores dan tahan suhu. Unsur paduan utama baja adalah karbon, dengan ini baja dapat digolongkan menjadi tiga yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang, dan baja karbon tinggi (Amanto, 1999).

Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi menjadi tiga macam, yaitu:

1. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mengandung karbon dalam campuran baja kurang dari 0,3%C. Baja ini tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit.

2. Baja karbon sedang

Baja karbon sedang (*medium carbon steel*) mengandung karbon 0,3%C-0,6%C. Dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan melalui proses perlakuan panas yang sesuai. Baja ini lebih keras serta lebih kuat dibandingkan dengan baja karbon rendah.

3. Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon 0,6%C-1,5%C dan memiliki kekerasan yang lebih tinggi, namun keuletannya lebih rendah. Berkebalikan dengan baja karbon rendah, pengerasan dengan perlakuan panas pada baja karbon tinggi tidak memberikan hasil yang optimal karena terlalu banyaknya martensit, sehingga membuat baja menjadi getas (Amanto, 1999).

Sedangkan untuk baja paduan terdiri dari:

1. Baja Paduan Rendah (*Low Alloy Steel*)

Baja paduan rendah merupakan baja paduan yang elemen paduannya kurang dari 2,5% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

2. Baja Paduan Menengah (*Medium Alloy Steel*)

Baja paduan menengah merupakan baja paduan yang elemen paduannya 2,5% - 10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

3. Baja Paduan Tinggi (*High Alloy Steel*)

Baja paduan tinggi merupakan baja paduan yang elemen paduannya lebih dari 10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain (Amanto, 1999).

2.2 Pengaruh Unsur Paduan Terhadap Baja

Baja yang hanya mengandung unsur karbon tidak akan memiliki sifat seperti yang diinginkan. Penambahan unsur-unsur paduan lain seperti Si, Mn, Ni, Cr, V, W, dan lain sebagainya dapat menghasilkan sifat-sifat baja yang diinginkan. Pengaruh penambahan beberapa unsur paduan terhadap sifat baja adalah:

a. Silikon (Si)

Unsur silikon mempunyai pengaruh menaikkan tegangan tarik dan menurunkan kecepatan pendinginan kritis (laju pendinginan minimal yang dapat menghasilkan 100% martensit). Silikon merupakan unsur paduan yang ada pada setiap baja dengan jumlah kandungan lebih dari 0,4%.

b. Mangan (Mn)

Unsur mangan dalam proses pembuatan baja berfungsi sebagai *deoxider* (pengikat O₂) sehingga proses peleburan dapat berlangsung baik. Dengan kadar Mn yang rendah dapat menurunkan pendinginan kritis.

c. Nikel (Ni)

Unsur nikel memberikan pengaruh sama dengan Mn, yaitu menurunkan suhu kritis dan kecepatan kritis. Ni membuat struktur butiran menjadi halus dan menambah keuletan.

d. Krom (Cr)

Unsur krom meningkatkan kekuatan tarik dan keplastisan, menambah mampu keras, meningkatkan tahan korosi dan tahan suhu tinggi.

e. Vanadium (V) dan Wolfram (W)

Unsur vanadium dan wolfram membentuk karbidat yang sangat keras dan memberikan baja dengan kekerasan yang tinggi. Kekerasan dan tahan panas

yang cukup tinggi pada baja sangat diperlukan untuk mesin pemotongan dengan kecepatan tinggi (Kurniawan,2007).

2.3 Baja Pegas Daun

Baja pegas daun digunakan sebagai suspensi kendaraan darat, baik untuk kendaraan roda empat maupun roda enam. Komponen ini biasanya terdiri dari beberapa plat datar yang dijepit bersama untuk mendapatkan efisiensi dan daya lenting yang tinggi. Baja pegas daun merupakan suatu komponen utama yang digunakan untuk meredam getaran atau guncangan yang ditimbulkan oleh eksitasi-eksitasi gaya luar saat kendaraan bergerak. Karena itu komponen ini harus diperhitungkan dengan baik efek negatif terhadap kenyamanan penumpangnya. Bahan pegas daun termasuk dalam golongan baja pegas, yang sebenarnya tidak memiliki kekerasan tinggi (Sugeng, 2009).

Tegangan pegas daun terjadi pada ujung yang dijepit. Pegas daun diharapkan terdefleksi secara teratur pada saat menerima beban. Adapun fungsinya yaitu dapat memberikan gaya, melunakan tumbukan dengan memanfaatkan sifat elastisitas bahannya, menyerap dan menyimpan energi dalam waktu yang singkat dan mengeluarkannya kembali dalam jangka waktu yang lebih panjang, serta mengurangi getaran. Cara kerja baja pegas daun adalah kemampuannya menerima kerja lewat perubahan bentuk elastis ketika mengendur, kemudian menyerahkan kembali ke dalam bentuk semula (Sugeng, 2009).

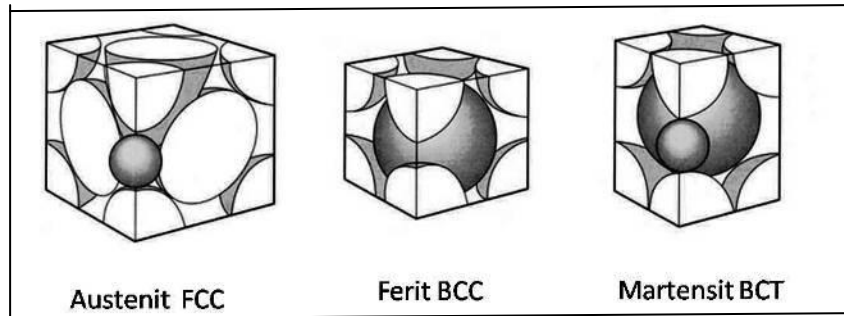
Hasil penelitian Nurtanti Indah Lestari (2012) tentang pengaruh pemanasan, lama pemanasan dan pendinginan dengan cepat pada baja pegas daun yang termasuk

baja *hypoeutectoid* memiliki nilai kekerasan awal sebesar 30,1 HRC dengan kandungan karbon 0,5%. Hasil penelitian Susri Mizhar dan Suherman (2011) tentang pengaruh perbedaan kondisi tempering terhadap struktur mikro dan kekerasan dari baja pegas daun AISI 4140 pada penelitiannya nilai kekerasan awal baja sebelum dipanaskan sebesar 26,6 HRC dengan kandungan karbon 0,4126%. Berdasarkan hasil penelitian tersebut setiap baja pegas daun memiliki nilai kekerasan berbeda-beda tergantung dari unsur-unsur yang terdapat dalam baja.

2.4 Struktur Logam

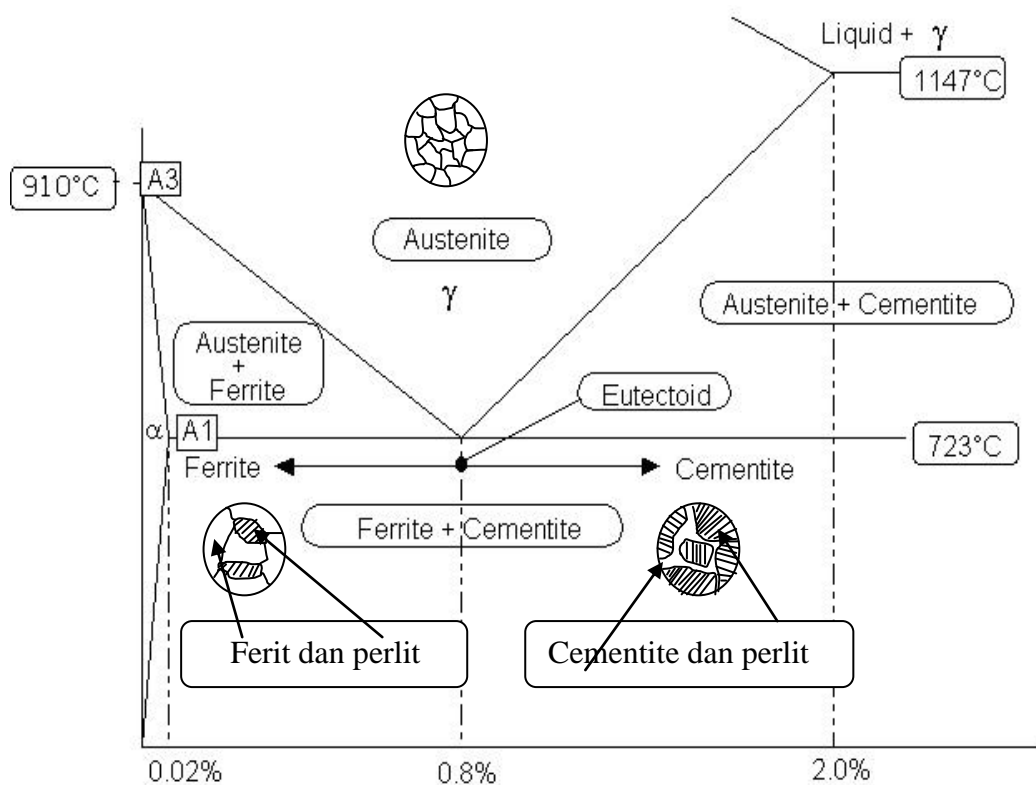
Sifat-sifat yang dimiliki logam akan berpengaruh dalam penggunaan logam, hal ini yang merupakan dasar dari pemilihan bahan. Sifat-sifat yang dimiliki setiap logam berbeda karena adanya perbedaan unsur-unsur penyusun serta paduan yang akan membentuk struktur mikronya. Unsur adalah material yang independen dan murni tanpa pengotor atau unsur-unsur lain. Unsur-unsur tersusun atas atom-atom yang mempunyai inti dan elektron. Inti atom bermuatan positif (+) yang terdiri dari proton dan neutron, sedangkan elektron bermuatan negatif (-). Karena adanya muatan ini setiap unsur akan saling tarik menarik sehingga mencapai kondisi yang stabil atau netral (Supardi, 1999).

Karena adanya gaya tarik menarik antar atom, maka atom-atom logam akan membentuk persenyawaan satu dengan yang lain. Persenyawaan ini akan membentuk suatu bagan geometrik tertentu dalam keadaan padat yang disebut sebagai kristalit. Bentuk geometri pada logam besi dan baja biasanya berupa kubus, yang tersusun dari atom-atomnya. Bentuk geometri inti seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bentuk geometris kristal (Supardi,1999).

Struktur mikro baja dapat dipahami melalui metalurgi baja karbon dengan diagram besi karbon (Fe-C). Gambar 2 menunjukkan transformasi fasa yang terjadi sebagai akibat dari perlakuan panas pada baja yakni pemanasan dan pendinginan. Pada pendinginan di bawah A1 akan mempengaruhi struktur mikro baja (Higgins, 1999).



Gambar 2. Diagram fasa baja (Avner, 1974).

Beberapa fasa yang terdapat dalam diagram fasadapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Ferit

Fasa ini disebut alpha (α). Ruang antar atomnya kecil dan rapat sehingga akan sedikit menampung atom karbon. Batas maksimum kelarutan karbon 0,025%C pada temperatur 723°C, struktur kristalnya BCC (*Body Center Cubic*). Pada suhu ruang, kadar karbonnya 0,008% sehingga dapat dianggap besi murni. Ferit bersifat magnetik sampai suhu 768°C. Sifat-sifat ferit adalah ketangguhan rendah, keuletan tinggi, ketahanan korosi medium dan struktur paling lunak diantara diagram Fe₃C.

b. Perlit

Fasa perlit 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 *eutektoidlamellar*.

c. Sementit (karbida besi)

Sementit merupakan paduan besi melebihi batas daya larut membentuk fasa kedua. Karbida besi mempunyai komposisi kimia Fe₃C. Dibandingkan dengan ferit, 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.

d. Austenit

Austenit adalah campuran besi dan karbon yang terbentuk pada pembekuan, pada proses pendinginan selanjutnya austenit berubah menjadi ferit dan perlit

atau perlit dan sementit. Sifat austenit adalah lunak, lentur dengan ketahanan tinggi. Kadar karbon maksimum sebesar 2,14%. Pada temperatur 1184°C, struktur kristalnya FCC (*Face Center Cubic*).

e. Martensit

Martensit merupakan fasa diantara ferit dan sementit bercampur, tetapi bukan *lamellar*, melainkan jarum-jarum sementit. Fasa ini terbentuk austenit meta stabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat tertentu. Terjadinya hanya presipitasi Fe₃C unsur paduan lainnya tetapi larut transformasi isothermal pada 260°C untuk membentuk dispersi karbida yang halus dan matriks ferit.

f. 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*. Bainit merupakan struktur mikro campuran fasa ferit dan sementit (Fe₃C). Kekerasan bainit kurang lebih berkisar antara 300-400 HVN (Yogantoro, 2010).

Dari diagram fasa tersebut dapat dilakukan proses pemanasan pada suhu tertentu sesuai dengan kandungan karbon dalam baja. Berikut Tabel 1 menunjukkan hubungan adanya kesesuaian antara kandungan karbon dengan suhu pengerasan baja.

Tabel 1. Kesesuaian antara kandungan karbon dengan suhu pemanasan

| No | Suhu | Kandungan | | | | | |
|----|----------|-----------|------|------|------|------|-------|
| | | 0,45 | 0,60 | 0,70 | 0,85 | 1,00 | >1,00 |
| 1 | Minimum | 790 | 780 | 760 | 730 | 725 | 725 |
| 2 | Maksimum | 820 | 810 | 800 | 780 | 770 | 760 |

(Schonmetz, 1987).

2.5 Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

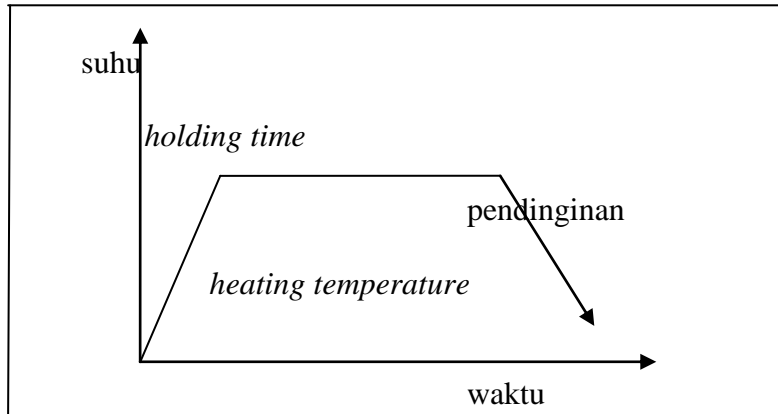
Proses perlakuan panas pada umumnya untuk memodifikasi struktur mikro baja sehingga meningkatkan sifat mekanik, salah satunya yaitu kekerasan (Smallman and Bishop, 1999).

Perlakuan panas (*heat treatment*) adalah suatu proses mengubah sifat mekanis logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa mengubah komposisi kimia. Tujuan proses perlakuan panas untuk menghasilkan sifat-sifat logam yang diinginkan. Perubahan sifat setelah perlakuan panas dapat mencakup keseluruhan bagian logam atau sebagian dari logam (Mizhar dan Suherman, 2011). Perlakuan panas biasanya menggunakan pemanasan dan pendinginan hingga suhu ekstrim, untuk mencapai hasil yang diinginkan seperti pengerasan atau pelunakan baja. Perlakuan panas yang umum digunakan yaitu normalisasi, *hardening*, *tempering*, dan lain-lain (Choudhury *et al.*, 2001). Pengerasan baja dilakukan dengan proses pemanasan dan pendinginan. Pada saat pendinginan mengalami transformasi martensit yang dapat meningkatkan kekerasan. Proses pengerasan ini tanpa mempengaruhi sifat-sifat yang lain (Zinn and Semiatin, 1988).

Secara umum, proses perlakuan panas adalah:

- Memanaskan logam/paduannya sampai pada suhu tertentu (*heating temperature*).
- Mempertahankan pada suhu pemanasan tersebut dalam waktu tertentu (*holding time*).
- Mendinginkan dengan media pendingin dan laju tertentu.

Skema pada proses ini secara sederhana dapat digambarkan melalui diagram temperatur terhadap waktu seperti Gambar 3.



Gambar 3. Diagram temperatur terhadap waktu (Karmin dan Ginting, 2012).

2.5.1 Hardening

Hardening adalah perlakuan panas terhadap baja dengan sasaran meningkatkan kekerasan alami baja. Perlakuan panas menurut pemanasan benda kerja menuju suhu pengerasan dan pendinginan secara cepat dengan kecepatan pendinginan kritis (Schonmetz dan Gruber, 1985).

Hardening dilakukan untuk memperoleh sifat tahan aus yang tinggi, kekuatan, dan *strength* yang lebih baik. Kekerasan yang dapat dicapai tergantung pada kadar karbon dalam baja dan kekerasan yang terjadi akan tergantung pada temperatur pemanasan, *holding time*, laju pendinginan yang dilakukan, dan ketebalan sampel. Untuk memperoleh kekerasan yang baik (martensit yang keras) maka pada saat pemanasan harus dapat dicapai struktur austenit, karena hanya austenit yang dapat bertransformasi menjadi martensit. Bila pada saat pemanasan masih terdapat

struktur lain maka setelah di *quench*kan diperoleh struktur yang tidak seluruhnya terdiri dari martensit (Dalil dkk, 1999).

Faktor penting yang dapat mempengaruhi proses *hardening* terhadap kekerasan baja yaitu oksidasi oleh oksigen. Selain berpengaruh terhadap besi, oksigen berpengaruh terhadap karbon yang terikat sebagai sementit atau yang larut dalam austenit. Oleh karena itu pada benda kerja dapat berbentuk lapisan oksidasi selama proses *hardening*. Pencegahan kontak dengan udara selama pemanasan atau *hardening* dapat dilakukan dengan cara menambah temperatur lebih tinggi karena bahan yang terdapat dalam baja akan bertambah kuat terhadap oksigen. Jadi, semakin tinggi temperatur, semakin mudah untuk melindungi besi terhadap oksidasi (Schonmetz, 1985).

Bila bentuk benda tidak teratur, benda harus dipanaskan perlahan-lahan agar tidak mengalami distorsi atau retak. Makin besar potongan benda, makin lama waktu yang diperlukan untuk memperoleh hasil pemanasan yang merata. Pada perlakuan panas ini, panas merambat dari luar ke dalam dengan kecepatan tertentu. Bila pemanasan terlalu cepat, bagian luar akan jauh lebih panas dari bagian dalam sehingga dapat diperoleh struktur yang merata (Schonmetz, 1985).

Benda dengan ukuran yang lebih besar pada umumnya menghasilkan permukaan yang kurang keras meskipun kondisi perlakuan panas tetap sama. Hal ini disebabkan karena terbatasnya panas yang merambat di permukaan. Oleh karena itu kekerasan di bagian dalam akan lebih rendah daripada bagian luar. Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam dapat dihilangkan, besar butir

diperbesar atau diperkecil, ketangguhan ditingkatkan atau permukaan yang keras disekeliling inti yang ulet (Schonmetz, 1985).

2.5.2 Holding Time

Holding time dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses *hardening* dengan menahan pada temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen sehingga struktur austenitnya homogen atau terjadi kelarutan karbida ke dalam austenit dan difusi karbon dan unsur paduannya (Dalil dkk, 1999). Lamawaktu penahanan tergantung pada tingkat kelarutan karbida, ukuran butir yang diinginkan, laju pemanasan, dan ketebalan sampel (Yogantoro, 2010).

2.5.3 Normalizing

Normalizing adalah proses pemanasan pada suhu austenit dan didinginkan di udara terbuka. Adapun caranya adalah memanaskan baja pada suhu 10°C-40°C di atas daerah kritis, kemudian pendinginan dengan udara. *Normalizing* biasanya diterapkan pada baja karbon rendah dan baja paduan untuk menghilangkan pengaruh pengerjaan bahan sebelumnya, menghilangkan tegangan dalam, dan memperoleh sifat-sifat fisik yang diinginkan (Amstead dan Djaprie, 1995).

2.5.4 Quenching

Quenching merupakan pendinginan secara cepat suatu logam dengan pencelupan pada media pendingin. Kekerasan maksimum dapat terjadi dengan mendinginkan secara mendadak sampel yang telah dipanaskan sehingga mengakibatkan

perubahan struktur mikro. Laju *quenching* tergantung pada beberapa faktor yaitu temperatur medium, panas spesifik, panas pada penguapan, konduktivitas termal medium, viskositas, dan agitasi (aliran media pendingin). Kecepatan pendinginan dengan air lebih besar dibandingkan pendinginan dengan oli. Pendinginan dengan udara memiliki kecepatan yang paling kecil (Syaefudin, 2001).

2.6 Media *Quenching*

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

1. Air

Air adalah senyawa kimia dengan rumus kimia H_2O . Artinya satu molekul air tersusun atas dua atom hydrogen yang terikat secara kovalen pada satu atom oksigen. Air memiliki sifat tidak berwarna, tidak terasa dan tidak berbau. Air memiliki titik beku $0^{\circ}C$ dan titik didih $100^{\circ}C$ (Halliday dan Resnick, 1985). Air memiliki koefisien viskositas sebesar $0,001 Pa.s$ pada temperatur $20^{\circ}C$ (Giancoli, 1999). Pendinginan menggunakan air akan memberikan daya pendinginan yang cepat dibandingkan dengan oli (minyak) karena air dapat dengan mudah menyerap panas yang dilewatinya dan panas yang terserap akan cepat menjadi dingin. Kemampuan panas yang dimiliki air besarnya 10 kali dari minyak (Soedjono, 1978). Sehingga akan dihasilkan kekerasan dan kekuatan yang baik pada baja. Pendinginan menggunakan air menyebabkan tegangan dalam, distorsi dan retak (Gary 2011).

2. Minyak

Minyak yang digunakan sebagai fluida pendingin dalam perlakuan panas adalah yang dapat memberikan lapisan karbon pada kulit (permukaan) benda kerja yang diolah. Selain minyak yang khusus digunakan sebagai bahan pendinginan pada proses perlakuan panas, dapat juga digunakan minyak bakar atau oli. Viskositas oli dan bahan dasar oli sangat berpengaruh dalam proses pendinginan sampel. Oli yang mempunyai viskositas lebih rendah memiliki kemampuan penyerapan panas lebih baik dibandingkan dengan oli yang mempunyai viskositas lebih tinggi karena penyerapan panas akan lebih lambat (Soedjono,1978). Untuk oli mesin SAE 10 pada temperatur 30°C memiliki koefisien viskositas 200×10^{-3} Pa.s (Giancoli, 1999).

3. Udara

Pendinginan udara dilakukan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat. Untuk keperluan tersebut udara yang disirkulasikan ke dalam ruangan pendinginan 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 (Soedjono,1978). Udara memiliki titik didih -194°C dan nilai koefisien viskositasnya $0,018 \times 10^{-3}$ Pa.s (Giancoli, 1999).

4. Garam

Garam dipakai sebagai bahan pendinginan disebabkan memiliki sifat mendinginkan yang teratur dan cepat. Bahan yang didinginkan di dalam cairan garam yang akan mengakibatkan ikatannya menjadi lebih keras karena pada permukaan benda kerja tersebut akan mengikat zat arang

(Soedjono,1978).Cairan garam merupakan larutan garam dengan air, titik didih larutan akan lebih tinggi daripada pelarut murninya. Besarnya kenaikan titik didih larutan dalam persamaan dinyatakan dengan:

$$\Delta T_d = K_d \times m \dots \dots \dots (1)$$

dimana:

K_d =tetapan kesetaraan titik didih molal yang tergantung pada jenis pelarut, untuk air sebesar $0,52^\circ\text{C m}^{-1}$.

m = molalitas larutan (Budiyanto, 2013).

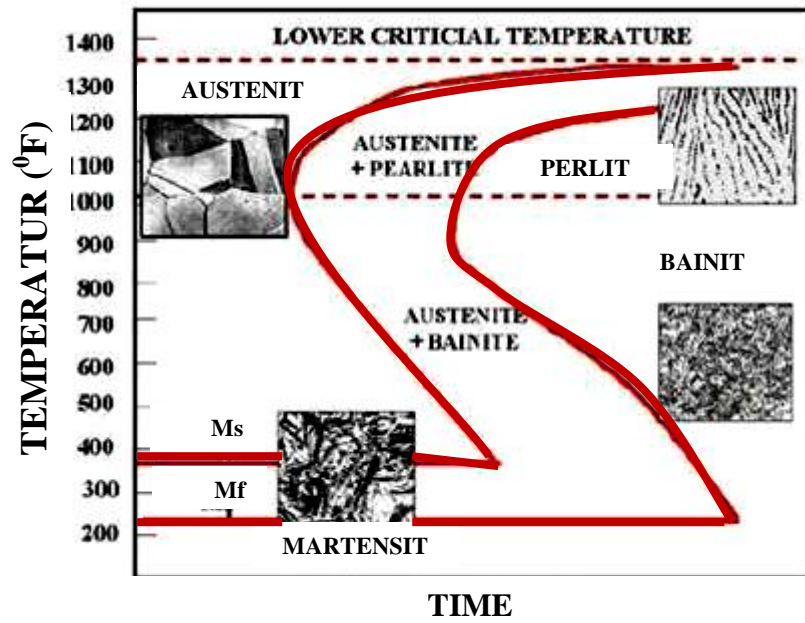
Keuntungan menggunakan air garam sebagai media pendingin adalah pada proses pendinginan suhunya merata pada semua bagian permukaan, tidak ada bahaya oksidasi, karburisasi atau dekarburisasi (Gary, 2011).Kemampuan suatu media dalam mendinginkan sampel berbeda-beda yang dipengaruhi oleh temperatur, kekentalan, kadar larutan dan bahan dasar media pendingin (Soedjono,1978).

2.7Pembentukan Martensit

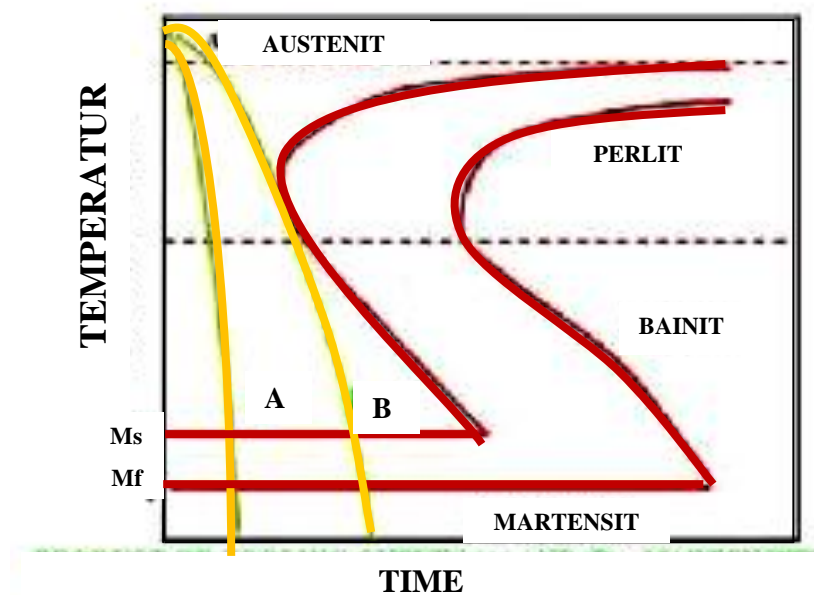
Martensit terbentuk jika fasa austenit dengan cepat ke temperatur rendah. Transformasi dari fasa austenit ke ferit terjadi suatu proses pengintian dan pertumbuhan butir yang dipengaruhi oleh waktu. Karena laju pendinginan yang begitu cepat, maka atom karbon tersebut terperangkap dalam larutan sehingga membentuk struktur martensit. Beberapa faktor yang mempengaruhi transformasi martensit adalah:

1. Proses transformasi terjadi tanpa difusi dan tidak terjadi perubahan komposisi kimia selama proses berlangsung. Volume yang kecil dari austenit tiba-tiba struktur kristalnya berubah oleh gerakan gesekan.
2. Proses transformasi hanya berlangsung selama pendinginan dan proses ini berhenti jika pendinginan dihentikan. Transformasi ini tergantung pada temperatur dan tidak tergantung pada waktu, sehingga jumlah dari martensit yang terbentuk mempunyai hubungan yang tidak linier dengan penurunan waktu. Temperatur pembentukan awal martensit ditandai dengan M_s dan temperatur akhir pembentukan ditandai dengan M_f . Jika baja ditahan temperaturnya dibawah M_s , transformasi martensit akan berhenti dan tidak akan berlangsung lagi, kecuali jika temperaturnya diturunkan kembali secara cepat.
3. Pembentukan dari suatu paduan yang diberikan tidak dapat berubah, dan temperatur M_s tidak dapat berubah dengan perubahan laju celupnya. Temperatur pembentukan martensit dari suatu paduan tidak dapat diturunkan dengan peningkatan laju pendinginan (Adriansyah, 2007).

Pada Gambar 4 merupakan diagram TTT (*Time Temperature Transformation*) yang menghubungkan transformasi austenit terhadap waktu dan temperatur. Melalui diagram ini dapat dipelajari kelakuan baja pada setiap tahap perlakuan panas, diagram ini juga dapat digunakan untuk memperkirakan struktur dan sifat mekanik pada baja yang di *quenching* dari temperatur austenisasinya kesuatu temperatur di bawah A_1 .



Gambar 4. Diagram TTT dan struktur mikro pada tiap fase (Al-Matsany, 2012).



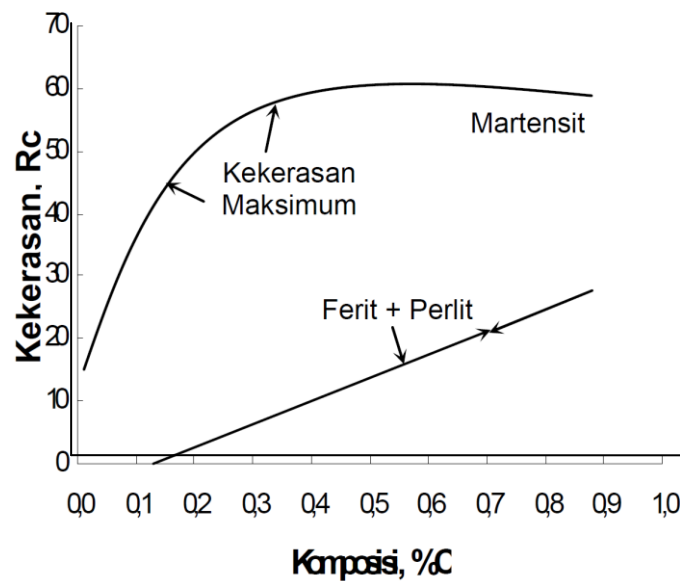
Gambar 5. Skema pendinginan *quench* (Al-Matsany, 2012).

Pada Gambar 5 tersebut pendinginan A dan B menunjukkan dua proses pendinginan cepat. Dalam kurva A akan menyebabkan distorsi dan tekanan internal yang lebih tinggi daripada laju pendinginan B. Hasil akhir dari pendinginan akan menjadi martensit. Laju pendinginan B juga dikenal sebagai

Critical Cooling Rate, yang bersinggungan dengan *nose* dari diagram TTT. Tingkat pendinginan kritis didefinisikan sebagai tingkat pendinginan terendah yang menghasilkan martensit 100% dan meminimalkan internal dan distorsi (Al-Matsany, 2012).

2.8 Kemampuan Kekerasan

Kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan suatu material terhadap daya tembus dari bahan lain yang lebih keras (Karmin dan Ginting, 2012). Kemampuan kekerasan merupakan kemampuan bahan untuk dikeraskan. Kekerasan maksimum dapat tercapai bila martensit 100%. Baja yang dengan cepat bertransformasi dari austenit menjadi ferit dan karbida mempunyai kemampuan kekerasan yang rendah, karena dengan terjadinya transformasi pada suhu yang tinggi martensit tidak terbentuk. Sebaliknya baja dengan transformasi yang lambat dari austenit ke ferit dan karbida mempunyai kemampuan kekerasan yang lebih besar. Kekerasan mendekati maksimum dapat dicapai pada baja dengan kemampuan kekerasan yang tinggi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 6 hubungan antara kekerasan dengan meningkatnya kandungan karbon dalam baja.



Gambar 6. Hubungan kekerasan dengan meningkatnya kandungan karbon (Karmin dan Ginting, 2012).

2.9 Uji kekerasan

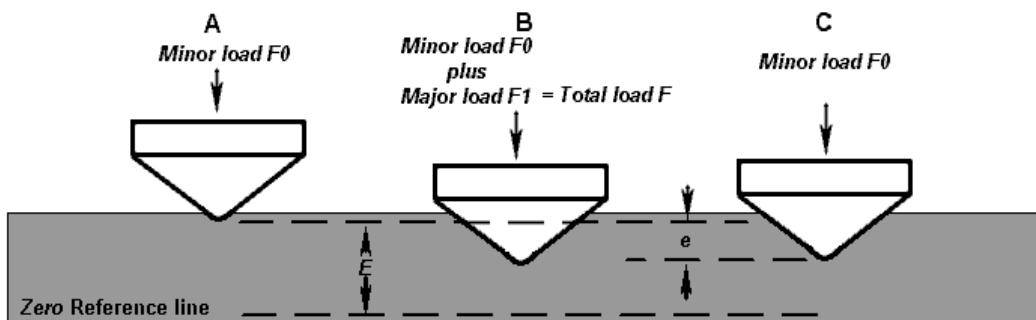
Uji kekerasan adalah mengukur ketahanan material terhadap deformasi plastis yang terlokalisasi (lengkungan kecil atau goresan). Terdapat tiga jenis ukuran kekerasan, yang tergantung pada cara melakukan pengujiannya. Ketiga jenis tersebut yaitu:

1. Kekerasan goresan.
2. Kekerasan lekukan.
3. Kekerasan pantulan atau dinamik.

Uji kekerasan yang sering dipergunakan pada logam adalah jenis pengujian kekerasan lekukan dengan metode Rockwell (Haryadi, 2005).

Uji Kekerasan Rockwell

Pada uji kekerasan dengan metode Rockwell benda uji ditekan dengan penetrator (bola baja dan intan, dll). Harga kekerasan diperoleh dari perbedaan kedalaman dari beban mayor dan minor. Beban minor merupakan beban awal yang diberikan untuk pengujian kekerasan Rockwell yang sudah ditentukan, sedangkan beban mayor merupakan beban minor ditambah dengan beban tambahan yang diberikan saat pengujian kekerasan. Nilai kekerasan berdasarkan kedalaman penekanan indentor dan hasilnya dapat langsung dibaca pada jarum penunjuk indikator di mesin Rockwell. Ilustrasi pengujian kekerasan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Penetrasi Rockwell, F_0 = beban awal (*preliminary minor load in kgf*), F_1 = beban tambahan (*additional major load in kgf*), F = beban total (*total load in kgf*) (Higgins, 1999).

Nilai kekerasan Rockwell (HR):

$$HR = E - e \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

e = penambahan kedalaman penetrasi dari beban mayor, diukur dalam unit 0,002 mm.

E = konstanta tergantung dari *indenter*: 100 unit untuk *diamond indenter*, 130 unit untuk *steel ball indenter* (contoh *indenter* pada Tabel 2).

Tabel 2. Skala Rockwell Hardness

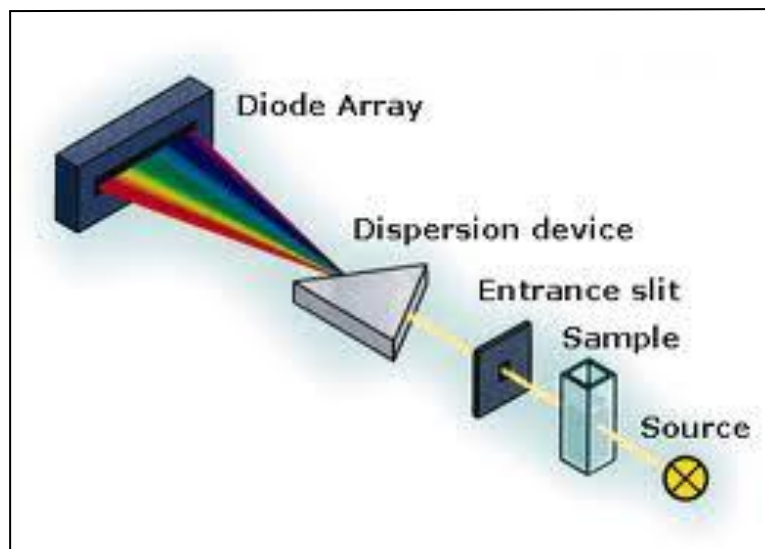
| Scale | Indenter | Minor Load | Major Load | Total Load |
|-------|------------------|--------------|--------------|------------|
| | | F_0 Kgf | F_1 kgf | F Kgf |
| A | Diamond cone | 10 | 50 | 60 |
| B | 1/16" steel ball | 10 | 90 | 100 |
| C | Diamond cone | 10 | 140 | 150 |
| D | Diamond cone | 10 | 90 | 100 |
| E | 1/8" steel ball | 10 | 90 | 100 |
| F | 1/16" steel ball | 10 | 50 | 60 |
| G | 1/16" steel ball | 10 | 140 | 150 |
| H | 1/8" steel ball | 10 | 50 | 60 |
| K | 1/8" steel ball | 10 | 140 | 150 |
| L | 1/4" steel ball | 10 | 50 | 60 |
| M | 1/4" steel ball | 10 | 90 | 100 |
| P | 1/4" steel ball | 10 | 140 | 150 |
| R | 1/2" steel ball | 10 | 50 | 60 |
| S | 1/2" steel ball | 10 | 90 | 100 |
| V | 1/2" steel ball | 10 | 140 | 150 |

(Sulaiman, 2010).

2.10 *Optical Emission Spectroscopy (OES)*

Alat uji *Optical Emission Spectroscopy* mendeteksi komposisi atau kadar unsur-unsur yang terkandung dalam suatu logam, hasil dapat diketahui melalui panjang gelombang dan intensitas sinar yang terpancar. Sinar yang terpancar memiliki panjang gelombang tertentu sesuai dengan jenis atom unsurnya dan intensitas sinar yang terpancar sebanding dengan kadar konsentrasi unsurnya. Dalam prinsip pelaksanaannya, sinar radioaktif dan gas argon ditembakkan terhadap sampel yang akan mengakibatkan terbakarnya sampel sehingga memancarkan cahaya dan panjang gelombang serta intensitas tertentu. Cahaya yang timbul akibat pembakaran diubah menjadi cahaya monokromatik yang kemudian dilewatkan pada kaca prisma sehingga terdifraksi menjadi cahaya dengan panjang gelombang

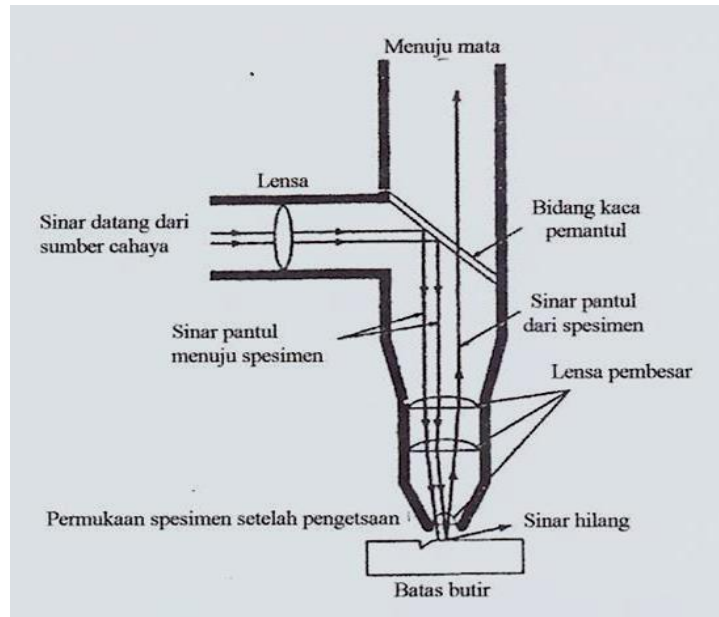
dan intensitas tertentu dan akan dideteksi oleh detektor unsur, sehingga dapat diketahui unsur yang terdapat pada sampel tersebut.(Zaenal, 1997).



Gambar 8.Prinsip kerja alat *Optical Emission Spectroscopy* (Arsip, 2013).

2.11 Mikroskop Optik

Secara umum prinsip kerja mikroskop optik adalah sinar datang yang berasal dari sumber cahaya melewati lensa kondensor, lalu sinar datang itu menuju *glass plane* yang akan memantulkannya menuju sampel. Sebelum mencapai sampel, sinar datang melewati beberapa lensa pembesar. Kemudian sinar datang tersebut sebagian akan dipantulkan kembali, sedangkan sebagian lagi akan menyimpang akibat mengenai permukaan yang telah terkorosi pada saat pengetsaan. Sinar datang yang dipantulkan kembali ke mikroskop optik akan diteruskan ke lensa okuler sehingga dapat diamati. Urutan jalannya sinar pada mikroskop optik akan dilihat lebih jelas pada Gambar 9.



Gambar 9. Skema perjalanan sinar pada mikroskop optik (Vlack, 1992).

Bagian-bagian spektrometer

- a. Kalimotorolimator merupakan sebuah tabung yang dilengkapi dengan lensa akromatik yang menghadap prisma dan sebuah celah. Fungsi lensa kalimotor adalah untuk mensejajarkan berkas sinar yang keluar dari celah. Lebar celah dapat diatur dengan menggunakan skrup pengatur yang terdapat pada ujung kolimator didekat celah. Skrup pengatur PC digunakan untuk mengatur lebar berkas cahaya yang jatuh pada prisma sedangkan posisi lensa terhadap celah dapat diatur dengan skrup, PL. Dalam penggunaan spektrometer prisma ini, celah dihubungkan dengan sumber cahaya yang akan diamati spektrumnya. Sumber cahaya dibungkus dalam sebuah tabung agar cahaya tidak terpancar dan diberi celah sejajar dengan celah yang terdapat pada kolimator.
- b. Teleskop
Teleskop yang digunakan terdiri dari lensa obyektif dan lensa okuler. Posisi lensa okuler terhadap lensa obyektif dapat diatur dengan skrup, yang terdapat pada ujung teleskop. Teleskop ini dapat digerak-gerakkan, selain berfungsi sebagai tempat melihat spectrum cahaya yang dihasilkan prisma, teleskop ini dapat menunjukkan besar sudut yang dihasilkan dari pembiasan prisma. Untuk

menentukan posisi celah dengan tepat, digunakan benang silang sebagai rujukan.

- c. Meja spectrometer merupakan tempat untuk meletakkan prisma. Kedudukannya dapat dinaikkan atau diturunkan ataupun diputar dengan melonggarkan skrup dan mengeratkannya. Prisma merupakan suatu objek yang membiaskan spectrum dari suatu sumber cahaya.

- d. Skala utama dan skala nonius

Dibawah meja spectrometer, terdapat piringan yang merupakan tempat dari Skala utama dan skala nonius. Skala-skala ini menunjukkan besar sudut yang dihasilkan dari pembiasan lensa. Pada skala utama terdapat 360 skala yang menunjukkan besar sudut pada lingkaran penuh. Sedangkan pada skala nonius terdapat skal-skala yang lebih kecil. Jumlah skala pada skala nonius tidak tetap, hal ini tergantung pada ketelitian spectrometer.

<http://blog.ub.ac.id/pertamaxxx/2012/03/12/diagram-ttt-time-tempertarure-transformation/>

<http://blog.ub.ac.id/hammamhashfif/?p=40>

<http://digilib.petra.ac.id/viewer.php?submit.x=11&submit.y=23&submit=prev&page=2&qual=high&submitval=prev&fname=%2Fjiunkpe%2Fs1%2Fmesn%2F2005%2Fjiunkpe-ns-s1-2005-24498091-6741-hardenability-chapter2.pdf>Kristen

http://www.google.com/search?q=diagram+carbon+dan+kekerasan&hl=en&tbo=d&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=lyIYUaiyO9DyrQebjYCIBA&ved=0CAcQ_AUoAA&bi

[w=1024&bih=641#imgsrc=RahyA3_Ci tqkM%3A%3Bb-FcqUPjiQn4oM%3Bhttp%253A%252F%252Fblog.ub.ac.id%252Fpreddy%252Ffiles%252F2012%252F03%252Fdiagram1.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fblog.ub.ac.id%252Fpreddy%252Fcategory%252Fperlakuan-panas-dan-permukaan%252F%3B451%3B339](http://www.tqkM%3A%3Bb-FcqUPjiQn4oM%3Bhttp%253A%252F%252Fblog.ub.ac.id%252Fpreddy%252Ffiles%252F2012%252F03%252Fdiagram1.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fblog.ub.ac.id%252Fpreddy%252Fcategory%252Fperlakuan-panas-dan-permukaan%252F%3B451%3B339) gamr

Optical Emission Spectrometer adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengamati spektrum cahaya yang terurai setelah melewati suatu medium sehingga membentuk suatu spektrum. Variabel yang diukur paling sering adalah lampu (Rista, 2011).

Prinsip kerja dari *Optical Emission Spectrometer* adalah cahaya yang didatangkan lewat celah sempit yang disebut kalimotor. Kalimotor ini merupakan fokus lensa, sehingga cahaya yang diteruskan akan bersifat sejajar. Cahaya yang sejajar akan diteruskan ke kisi kemudian ditangkap oleh teleskop yang posisinya dapat digerakkan. Pengukuran panjang gelombang dapat dilakukan dengan menggunakan kisi difraksi yang diletakkan pada meja spektrometer. Pada posisi teleskop dengan sudut tertentu, merupakan posisi yang sesuai dengan terjadinya pola terang (pola maksimum), maka hubungan panjang gelombang cahaya memenuhi persamaan:

$$d \sin \theta = n \lambda \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

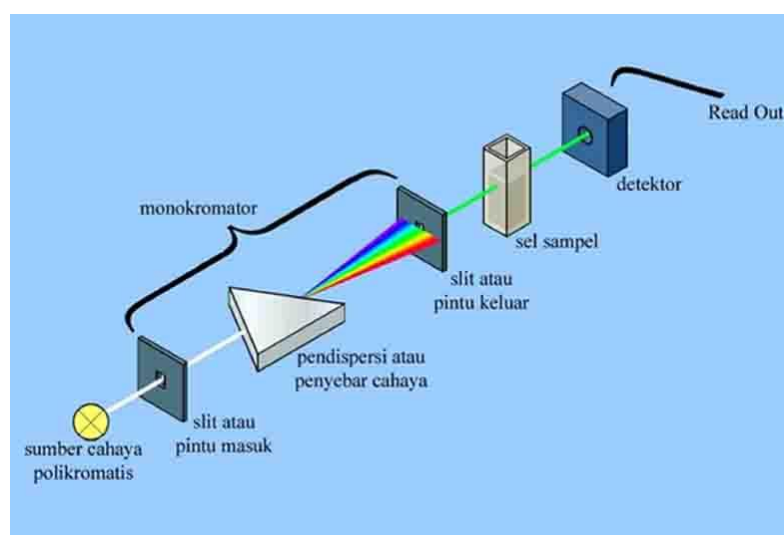
n = bilangan bulat yang merepresentasikan orde

d = jarak antara garis-garis pada kisi

λ = panjang gelombang dari cahaya yang diukur (Arsip, 2013).

Untuk *Optical Emission Spectrometer* prisma, cahaya yang sejajar kemudian masuk ke sebuah prisma. Di sini, cahaya mengalami dispersi atau peristiwa

penguraian cahaya polikromatik (putih) menjadi cahaya-cahaya monokromatik karena perbedaan indeks bias. Sebuah lensa memfokuskan cahaya dicelah keluar. Hanya satu cahaya yang dapat melewati celah ini dalam satu waktu. Oleh karena itu, prisma harus diputar untuk membawa warna-warna lain masuk ke dalam celah keluar dan membaca seluruh spektrum. Skala yang berbentuk lingkaran mencatat sudut prisma sehingga panjang gelombang cahaya dapat ditentukan (Rista, 2011). Prinsip kerja alat *Optical Emission Spectrometer* terdapat pada Gambar 8.



Gambar 8. Prinsip kerja alat *Optical Emission Spectrometer* (Arsip, 2013).