

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Studi kasus dan Penelitian Terkait

Penelitian oleh (Arsana et al., 2019) membahas pengaruh variasi media pendingin pada baja ST37 dan menemukan bahwa kombinasi media pendingin tertentu dapat meningkatkan sifat mekanis secara optimal. Dalam penelitian ini, tujuannya adalah untuk mengetahui pengaruh variasi media pendingin terhadap kekasaran permukaan benda kerja hasil pembubutan rata pada baja ST37. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan variabel terikat yaitu kekasaran permukaan dan variabel bebas yaitu media pendingin. Media pendingin yang digunakan meliputi air, minyak dromus, dan radiator coolant. Sampel penelitian terdiri dari 30 spesimen, masing-masing media pendingin memiliki 10 spesimen. Data kekasaran permukaan dianalisis menggunakan ANAVA satu jalur setelah dilakukan pengujian kekasaran permukaan sebanyak 3 kali untuk setiap spesimen dengan alat surface roughness tester. Hasil analisis menunjukkan bahwa minyak dromus menghasilkan kekasaran permukaan tertinggi sebesar 2,031  $\mu\text{m}$ , diikuti oleh radiator coolant sebesar 2,402  $\mu\text{m}$ , dan air sebesar 3,113  $\mu\text{m}$ . Studi ini menyimpulkan bahwa pendinginan dengan minyak diikuti oleh *tempering* memberikan hasil terbaik dalam hal kekuatan tarik dan ketangguhan.

Selain itu, (Prasetyo, 2019) penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak variasi temperatur terhadap perubahan sifat mekanis pada proses pengerasan baja karbon rendah menggunakan metode pengarbonan padat. Proses pengarbonan dilakukan selama 30 menit pada suhu yang bervariasi yaitu 650°C, 750°C, dan 850°C. Dalam proses ini, serbuk arang tempurung kelapa digunakan sebagai sumber karbon dan dicampur dengan 25% BaCO<sub>3</sub> sebagai katalis. Proses pengerasan permukaan dilakukan dengan *quenching* dalam media air. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kekerasan dan pengamatan struktur mikro.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu 850°C menghasilkan kekerasan permukaan tertinggi yaitu 324 HV. Peneliti juga menekankan pentingnya kontrol suhu dan waktu dalam proses *heat treatment* untuk mencapai sifat material yang diinginkan.

Penelitian oleh (Maulana, 2016) hasil pengujian tarik pada proses *quenching* dengan menggunakan variasi media air laut, air tawar, dan oli menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh yang signifikan untuk diaplikasikan pada pahat bubut seperti pahat HSS. Hasil nilai kekuatan tarik pada *quenching* air laut adalah 713,33 N/mm<sup>2</sup>, air tawar 593,18 N/mm<sup>2</sup>, dan oli 506,73 N/mm<sup>2</sup> untuk material baja St 41. Pengujian keausan pada *quenching* air laut menunjukkan nilai 0,191 mm<sup>2</sup>/kg, air tawar 0,098 mm<sup>2</sup>/kg, dan oli 0,356 mm<sup>2</sup>/kg, memberikan sedikit pengaruh positif terhadap ketahanan keausan pada pendinginan cepat (*quenching*) dengan air tawar jika dibandingkan dengan pahat bubut original yang memiliki nilai ketahanan aus 0,046 mm<sup>2</sup>/kg. Sedangkan pengujian kekerasan pada *quenching* dengan variasi air laut, air tawar, dan oli juga tidak memberikan pengaruh yang signifikan, dengan nilai kekerasan *quenching* air laut 178 HB, air tawar 201,33 HB, dan oli 148,33 HB, dibandingkan dengan nilai kekerasan pahat bubut original yang mencapai 676,66 HB.

Penelitian yang dilakukan oleh (Ceslaus Ona Toda, Elisa Sulistyorini, 2023) baja ST 37 diklasifikasikan sebagai baja karbon rendah karena kandungan karbonnya kurang dari 0,3%. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai korosi pada baja ST 37. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan variasi perlakuan panas bertingkat, yang meliputi: *hardening* pada suhu 840°C selama 15 menit kemudian didinginkan menggunakan Oli SAE 40; *normalizing* pada suhu 845°C selama 15 menit kemudian didinginkan dengan udara; *full annealing* pada suhu 850°C selama 15 menit kemudian didinginkan perlahan dalam dapur pemanas; serta *austempering* pada suhu 875°C selama 15 menit. Setelah mendapatkan hasil, laju korosi (mpy) dihitung

dengan metode penurunan berat (weight loss). Analisis menunjukkan bahwa perlakuan panas full *annealing* adalah yang paling efektif dalam mengurangi laju korosi pada baja ST 37.

Penelitian yang dilakukan oleh (Misbah Nur Alam, 2020) metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan bahan baja ST 37. Proses *hardening* dilakukan pada suhu 920°C dengan variasi waktu tahan (*holding time*) 10 menit, 25 menit, dan 40 menit, menggunakan media *quenching* air garam. Setelah itu, dilakukan proses *tempering* pada suhu 250°C dengan waktu tahan tetap 30 menit dan kemudian dilakukan *quenching* menggunakan udara. Penelitian ini menguji kekerasan, keausan, dan kekuatan tarik bahan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai rata-rata kekerasan tertinggi didapatkan pada variasi waktu tahan 10 menit dengan kekerasan sebesar 133,33 HB. Pengujian keausan tertinggi juga pada variasi waktu tahan 10 menit, yaitu 0,00014 mm<sup>3</sup>/kg. Sementara itu, kekuatan tarik tertinggi didapatkan pada variasi waktu tahan 40 menit dengan kekuatan tarik sebesar 602,71 N/mm<sup>2</sup>.

Penelitian yang dilakukan oleh (Nagie, 2014) bertujuan untuk mempelajari pengaruh laju pendinginan terhadap sifat mekanik Baja 35. Spesimen disiapkan untuk uji tarik, torsi, impak, dan kekerasan. Banyak spesimen yang telah disiapkan diberi perlakuan panas pada suhu 850°C selama satu jam dan kemudian didinginkan dengan tiga media berbeda (air, udara, dan tungku) untuk menunjukkan pengaruh laju pendinginan terhadap sifat mekanik. Struktur mikro seluruh spesimen diperiksa sebelum dan sesudah perlakuan panas menggunakan mikroskop optik. Fasa-fasa yang terbentuk setelah perlakuan panas dan pengaruhnya terhadap sifat mekanik juga diteliti. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa struktur mikro baja dapat diubah dan ditingkatkan secara signifikan dengan memvariasikan laju pendinginan, yang mana peningkatan satu sifat akan mempengaruhi sifat lainnya karena adanya hubungan antara semua sifat tersebut. Pada media air, kekuatan tarik, torsi, dan kekerasan meningkat, sementara hasil uji impak menurun. Media udara berkontribusi

dalam meningkatkan sebagian besar sifat mekanik karena homogenitas ukuran butir. Keuletan dan kekuatan impak meningkat pada media tungku.

Penelitian yang dilakukan oleh (Taha Abdullah, 2022) baja dengan sifat yang diinginkan sangat penting dan selalu dibutuhkan oleh banyak industri. Penelitian ini menyoroti beberapa operasi perlakuan panas dengan berbagai media pendingin untuk mencapai laju pendinginan cepat yang berbeda. Proses ini dilakukan dengan memanaskan sampel baja karbon rendah hingga suhu tertentu, kemudian mendinginkannya dengan cepat menggunakan delapan media *quenching* yang berbeda untuk memperoleh struktur mikro baja yang spesifik. Sampel yang diberi perlakuan panas tersebut kemudian diuji secara mekanis menggunakan uji kekerasan Brinell (BH). Hasil penelitian menunjukkan bahwa media *quenching* mempengaruhi sifat mekanik dan struktur mikro baja karbon rendah, dengan pengaruh yang bervariasi tergantung pada jenis quenchan yang digunakan.

#### **B. Bahan ST37**

Baja yang memiliki kadar karbon antara 0,1% hingga 1,7% dikenal sebagai baja karbon. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung dalam baja, baja ini terbagi menjadi tiga kategori, yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang, dan baja karbon tinggi. Selain itu, karena kadar karbonnya kurang dari 0,30%, baja ST 37 termasuk dalam kategori baja karbon rendah. Baja ST 37 merupakan baja karbon sedang yang identik dengan AISI 1045, dengan komposisi senyawa Karbon: 0,5%, Mangan: 0,8%, Silikon: 0,3%, serta beberapa komponen lainnya, dengan kuat tarik 650-800 N/mm<sup>2</sup> dan kekerasan kurang dari 170 HB. Kecuali jika diperlukan aplikasi khusus, baja ST 37 biasanya dapat langsung digunakan tanpa perlakuan panas.

Pelat baja ST 37 berbutir halus merupakan bahan bangunan yang sangat kuat dan lentur yang dapat dikerjakan dalam kondisi panas maupun dingin. Kata "ST" sendiri merupakan singkatan dari "Baja", dan angka 37

mengacu pada kekuatan tarik terendah yang mungkin, yaitu 37 kg/mm<sup>2</sup>.(Muhammad Hatta Harahap, 2018)

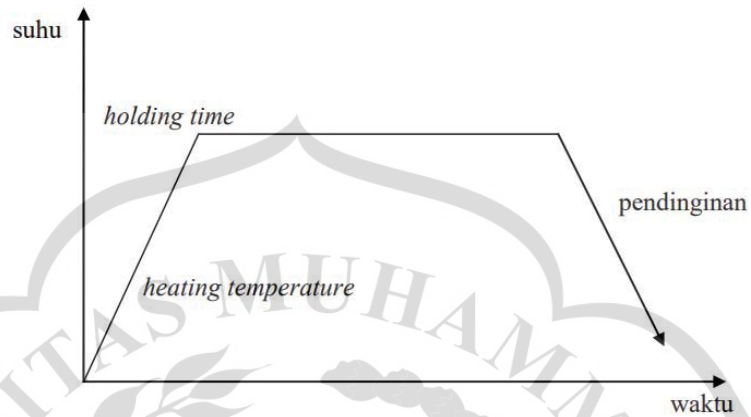
### C. Proses *Heat Treatment*

Perlakuan panas merupakan campuran pemanasan dan pendinginan logam atau kombinasi dalam keadaan kuat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. Dalam proses ini, laju pendinginan dan batas suhu sangat penting. Perlakuan panas merupakan proses yang mengubah sifat-sifat logam dengan mengubah mikrostrukturnya melalui pemanasan dan mengendalikan laju pendinginan, baik dengan atau tanpa mengubah komposisi kimia logam. Sifat-sifat logam yang diinginkan akan diperoleh melalui proses perlakuan panas. Perlakuan panas dapat mengubah sifat-sifat logam secara keseluruhan atau hanya sebagian saja.(Ayu V & Sumiati, 2020)

Perlakuan panas (*Heat treatment*) secara umum diklasifikasikan menjadi dua jenis: pengobatan panas yang menghasilkan kondisi yang disesuaikan dan yang menghasilkan kondisi yang tidak seimbang. Baja memiliki kekuatan dan kekerasan yang lebih rendah dalam kondisi seimbang tetapi keuletan yang lebih tinggi daripada dalam kondisi yang tidak seimbang. Pengobatan panas yang disesuaikan menggabungkan penguatan, yang dicirikan sebagai pemanasan hingga suhu tertentu diikuti oleh pendinginan pada tingkat yang sesuai. Menariknya, terapi intensitas yang tidak seimbang menggabungkan pemadatan dan perlakuan. Baja dipanaskan dan kemudian didinginkan selama proses pengerasan untuk membentuk struktur austenit. Setelah pengerasan, baja dipanaskan kembali dalam *tempering* hingga suhu kritis terendah untuk meningkatkan keuletan dan kekuatannya. (Misbah Nur Alam, 2020).

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 1



**Gambar 2.1** Diagram temperatur terhadap waktu (Nuzulia, 2018)

### 1. *Hardening*

*Hardening* adalah proses perlakuan panas pada baja yang bertujuan untuk meningkatkan kekerasan alaminya. Proses ini melibatkan pemanasan benda kerja hingga mencapai suhu pengerasan, kemudian pendinginan dengan cepat menggunakan kecepatan pendinginan kritis. Tujuan dari *hardening* adalah untuk mencapai sifat tahan aus yang tinggi, kekuatan, dan kekerasan yang lebih baik. Kekerasan yang dapat dicapai bergantung pada kadar karbon dalam baja, sementara kekerasan yang terbentuk dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu pemanasan, waktu penahanan, laju pendinginan, dan ketebalan sampel.

Untuk mencapai kekerasan yang optimal (martensit yang keras), proses ini melibatkan pemanasan hingga mencapai struktur austenit, karena hanya austenit yang dapat berubah menjadi martensit. Jika masih terdapat struktur lain selama pemanasan, hasil pendinginan cepat (*quench*) akan menghasilkan struktur yang tidak sepenuhnya terdiri dari martensit. Oksidasi oleh oksigen merupakan faktor signifikan yang dapat memengaruhi proses pengerasan dan kekerasan baja. Selain memengaruhi besi, oksigen memengaruhi karbon yang

terikat sebagai sementit atau terurai dalam austenit. Akibatnya, selama proses pengerasan, benda kerja dapat mengembangkan lapisan oksidasi. Material baja akan lebih tahan terhadap oksigen pada suhu yang lebih tinggi, mencegahnya bersentuhan dengan udara selama pemanasan atau pengerasan. Dengan cara ini, semakin tinggi suhu, semakin mudah untuk mencegah besi teroksidasi. (Sultoni et al., 2019)

Untuk menghindari distorsi atau keretakan, objek dengan bentuk yang tidak beraturan harus dipanaskan secara perlahan. Semakin besar bagian objek, semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai hasil pemanasan yang merata. Panas dipindahkan dari luar ke dalam pada kecepatan yang telah ditentukan selama perlakuan panas ini. Dengan asumsi pemanasan terlalu cepat, bagian luar akan jauh lebih panas daripada bagian dalam sehingga desain yang merata dapat diperoleh (Schonmetz, 1985). Meskipun kondisi perlakuan panas tetap sama, objek yang lebih besar biasanya menghasilkan permukaan yang kurang keras. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa perambatan panas permukaan terbatas. Akibatnya, kekerasan bagian dalam akan lebih rendah daripada bagian luar. Tekanan internal dapat dihilangkan, ukuran butiran dapat ditingkatkan atau dikurangi, ketangguhan dapat ditingkatkan, dan permukaan yang keras dapat dibuat di sekitar inti yang lentur dengan perlakuan panas yang tepat. (Arsana et al., 2019).

## 2. *Normalizing*

*Normalizing* merupakan proses pemanasan pada suhu austenit yang kemudian didinginkan dengan udara terbuka. Prosedur normalizing melibatkan pemanasan baja pada suhu  $10^{\circ}\text{C}$ - $40^{\circ}\text{C}$  di atas daerah kritis, dan kemudian didinginkan dengan udara terbuka. Proses ini biasanya digunakan pada baja karbon rendah dan baja paduan untuk menghilangkan efek dari proses pengerjaan sebelumnya, mengurangi tegangan dalam, dan mencapai sifat-sifat fisik yang diinginkan. Hasil dari normalizing adalah struktur butiran yang lebih halus, lebih

homogen, dan lebih keras dibandingkan dengan hasil *annealing* (Prasetyo, 2019)

### 3. *Quenching*

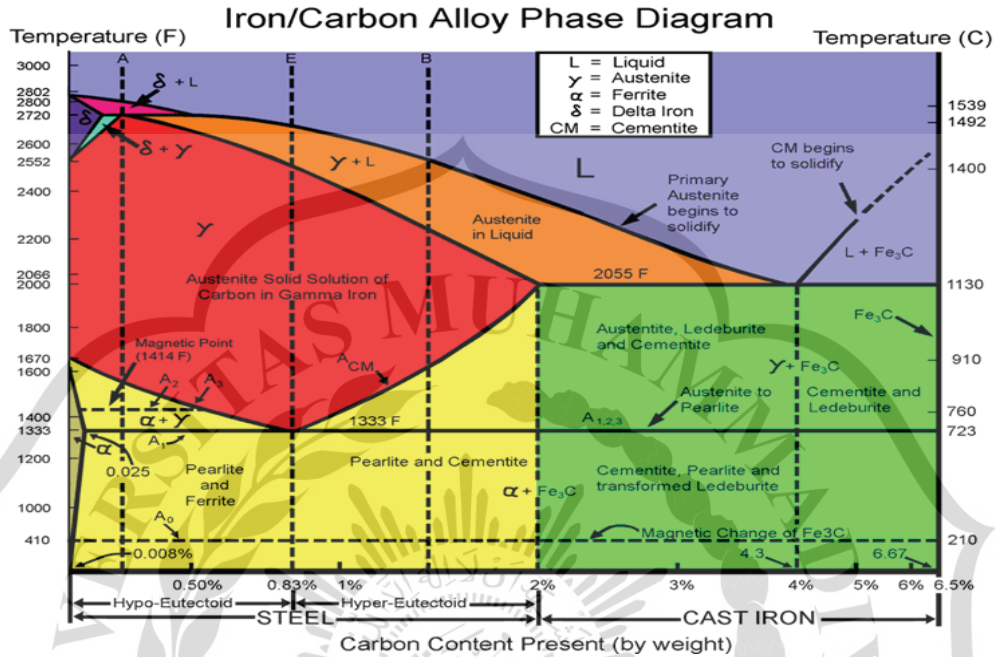
*Quenching* adalah siklus pengerjaan logam dengan pendinginan cepat. Oleh karena itu, pertumbuhan butiran, suatu proses yang dapat terjadi dengan pendinginan lambat, akan dicegah dengan pendinginan. Secara umum, pendinginan akan mengurangi ukuran butiran paduan logam dan dapat meningkatkan nilai kekerasannya. Media, panas spesifik, panas penguapan, konduktivitas termal media, viskositas, dan agitasi (aliran media pendingin) semuanya berdampak pada laju pendinginan. Laju pendinginan dengan air lebih besar daripada pendinginan dengan oli, sedangkan pendinginan dengan udara memiliki kecepatan paling kecil. (Ceslaus Ona Toda, Elisa Sulistyorini, 2023)

Baja yang telah dipadamkan biasanya memiliki kekerasan tinggi dan dapat mencapai kekerasan maksimum, tetapi agak getas. Kita harus mengurangi sifat getasnya melalui proses tambahan seperti *tempering*. (Arsana et al., 2019).

### 4. Temperatur *Austenite*

Untuk baja *hipereutektoid* dan baja *hipoeutektoid*, suhu pengerasan austenit yang direkomendasikan adalah 25-50 °C di atas suhu kritis bawah A1 dan suhu kritis atas A3. Karena tidak akan terbentuk martensit selama pemanasan, suhu yang hanya di bawah suhu eutektoid tidak akan menghasilkan peningkatan kekerasan yang signifikan. Pemanasan rentang utama antara suhu A1 dan A3 harus dipastikan menghasilkan austenit, namun masih ada ferit yang, jika didinginkan sekali lagi, akan tetap menjadi ferit yang halus. Metode pemanasan yang direkomendasikan adalah satu-satunya cara untuk mencapai kekerasan yang optimal. Jika pemanasan dilanjutkan pada suhu yang lebih tinggi, austenit akan memiliki butiran yang terlalu

kasar. Jika didinginkan lagi, ada kemungkinan strukturnya akan terlalu getas dan akan ada terlalu banyak tegangan.



Gambar 2.2 Diagram Kesetimbangan Fe<sub>3</sub>C (Nurul Ichhan2021)

#### D. Waktu Penahanan (*Holding Time*)

Waktu penahanan adalah jumlah waktu material ditahan pada suhu pengerasan untuk mencapai kekerasan maksimum selama proses pengerasan. Ini memastikan bahwa struktur austenit seragam atau karbida larut ke dalam austenit dan menyebarkan karbon dan elemen paduannya. Karena austenit masih dalam butiran halus, kandungan karbon dan elemen paduan tidak seragam, dan ada karbida yang belum larut, waktu penahanan biasanya diperlukan dalam baja. Baja harus ditahan pada suhu austenit untuk memberikan pintu terbuka bagi disintegrasi karbida dan austenit yang lebih homogen. Ketika suhu tungku mencapai suhu panas yang diinginkan, waktu penahanan dapat digunakan untuk menyempurnakan bentuk kristal yang terbentuk pada suhu transformasi. Tujuan dari waktu penahanan selama proses *tempering* adalah untuk mencapai struktur mikro yang lebih seragam dalam produk jadi. (Rahman et al., 2022).

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 yang terbuat dari baja karbon dan baja paduan rendah dengan karbida yang mudah larut biasanya perlu ditahan selama 5 hingga 15 menit setelah suhu pemanasan dipastikan memadai.
2. Baja pengembangan kombinasi sedang, umumnya untuk jenis baja ini dianjurkan memanfaatkan waktu penahanan selama 15-25 menit, berapa pun ukuran benda kerja.
3. Baja perkakas senyawa rendah, umumnya untuk jenis baja ini diperlukan waktu penahanan yang tepat, sehingga kekerasan baja yang ideal dapat tercapai. Waktu penahanan yang digunakan adalah 0,5 menit per milimeter ketebalan benda, atau 10 hingga 30 menit.
4. Baja krom paduan tinggi, yang, tergantung pada suhu pemanasan, biasanya memerlukan masa pakai terpanjang dari semua baja perkakas. Demikian pula, diperlukan perpaduan suhu dan waktu penahanan yang tepat. Jenis baja ini biasanya memerlukan waktu penahanan 0,5 menit untuk setiap milimeter ketebalan benda, dengan kisaran 10 menit hingga satu jam.
5. Baja untuk Perkakas Kerja Panas biasanya terdiri dari karbida yang sulit larut dan hanya dapat larut pada suhu 1000 derajat Celcius. Karena pertumbuhan butiran sangat mungkin terjadi pada suhu ini, waktu penahanan harus dibatasi hingga sekitar 15 hingga 30 menit.
6. Baja kecepatan tinggi biasanya memerlukan suhu pemanasan yang sangat tinggi, antara 1200 dan 1300 derajat Celsius. Hal ini dilakukan untuk menghentikan pertumbuhan butiran, dan hanya butuh beberapa menit untuk menahannya. (Permana et al., 2020).

#### **E. Media Pendingin Baja**

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

## 1. Air

Pendinginan dengan memanfaatkan air akan memberikan daya pendinginan yang cepat. Dalam kebanyakan kasus, garam dapur dilarutkan dalam air sebagai upaya untuk mengeraskan material dan mempercepat penurunan suhu benda kerja. Air memiliki karakteristik yang tidak dapat ditandingi oleh senyawa kimia lainnya. Air adalah cairan pada suhu antara 0°C (32°F) dan 100°C—kisaran suhu yang sesuai untuk kehidupan. Suhu 0° C adalah batas beku dan suhu 100°C adalah batas air. Air memiliki sifat-sifat yang menjadikannya penyimpan panas yang sangat baik karena perubahan suhu berlangsung lambat. Air tidak dapat langsung menjadi panas atau dingin karena sifat ini. Penguapan air memerlukan suhu yang tinggi. Disipasi adalah cara yang paling umum untuk mengubah air menjadi uap air. Siklus ini memerlukan banyak energi intensitas. Akibatnya, air digunakan dalam prosedur pendinginan penelitian ini setelah perlakuan panas karena dapat dengan cepat mendinginkan logam yang dipanaskan. (Rahman et al., 2022).

## 2. Air laut/Garam

Karena mendingin dengan cepat dan konsisten, garam digunakan sebagai zat pendingin. Karena permukaan benda kerja akan mengikat zat arang, material yang didinginkan dalam cairan garam akan menyebabkan ikatan menjadi lebih keras. Cairan garam merupakan larutan garam dan air, titik didih larutan akan lebih tinggi daripada larutan yang tidak tercampur. Besarnya kenaikan titik didih larutan dalam persamaan dinyatakan dengan. (Rahman et al. 2022)

$$\Delta T_d = K_d \times m$$

dimana:

$K_d$  = tetapan kesetaraan titik didih molal yang tergantung pada jenis pelarut, untuk air sebesar 0,52°C m-1

$m$  = molalitas larutan Keuntungan menggunakan air garam sebagai media pendingin adalah pada proses pendinginan suhunya merata pada

semua bagian permukaan, tidak ada bahaya oksidasi, karburasi atau dekarburasi Kemampuan suatu media dalam mendinginkan sampel berbeda-beda yang dipengaruhi oleh temperatur, kekentalan, kadar larutan dan bahar dasar pendingin (Nuzulia, 2018).

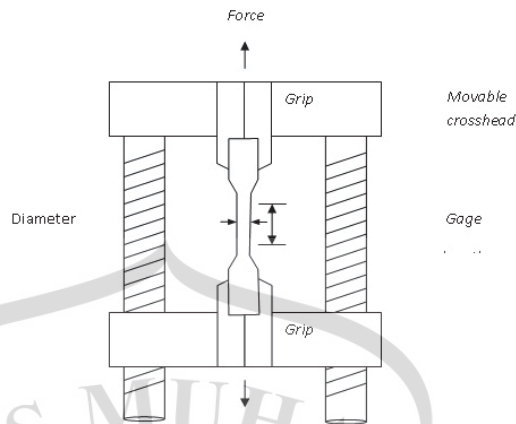
### 3. Minyak atau Oli

Oli dimanfaatkan sebagai cairan pendingin dalam terapi intensitas benda kerja yang telah ditangani sebelumnya. Dalam proses perlakuan panas, oli, bahan bakar minyak, atau solar semuanya dapat dimanfaatkan sebagai tambahan oli yang secara khusus digunakan sebagai pendingin. Tingkat kekentalan memengaruhi Keseriusan Pemadaman. Oli mineral sering dipilih karena kapasitas pendinginannya yang sangat baik. Secara umum, oli memiliki batas pendinginan paling tinggi pada sekitar 600°C, dan cukup rendah pada suhu pengembangan martensit. Ada tiga metode untuk meningkatkan laju pendinginan oli: pengadukan, memanaskan oli di atas suhu ruangan, dan mengemulsi air (larut dalam air). Oli khusus, yang juga dikenal sebagai oilquench, adalah contoh oli mineral yang sering digunakan dalam aplikasi pendinginan di industri.(Junipitoyo et al., 2020)

## **F. Pengujian yang Dilakukan**

### 1. Uji Kekuatan Tarik

Dengan menerapkan beban gaya uniaxial, pengujian tarik digunakan untuk menentukan kekuatan material. Karena memberikan informasi tentang kekuatan material, hasil pengujian tarik sangat penting untuk desain dan rekayasa produk. Ketahanan material terhadap gaya statis yang diterapkan secara perlahan diukur menggunakan pengujian tarik.



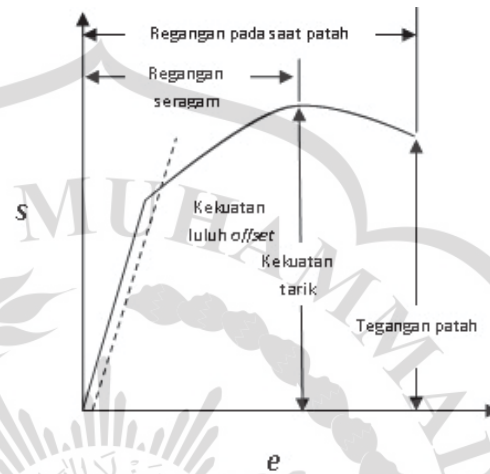
**Gambar 2.3** Mesin uji Tarik ( Maulana,Y. 2016)

contoh ukuran standar Objek uji tarik diberi beban di kedua arah porosnya, seperti yang digambarkan dalam gambar. Beban yang sama diberikan di kedua arah porosnya. Pengujian mekanis material didasarkan pada pengujian tarik, di mana spesimen uji standar diregangkan dan diperpanjang hingga akhirnya putus di bawah beban uniaxial. Jika dibandingkan dengan pengujian lain, pengujian tarik relatif mudah, murah, dan sangat standar. Bentuk dan dimensi spesimen uji, serta pemilihan pegangan, merupakan pertimbangan yang harus dilakukan untuk memastikan bahwa hasil pengujian akurat.

a. Bentuk dan Dimensi Spesimen uji

Spesimen uji harus sesuai dengan standar dan spesifikasi ASTM E8 atau D638. Kita harus menghindari retakan atau patah pada area pegangan atau di tempat lain, jadi bentuk spesimen penting. Oleh karena itu, tujuan dari standarisasi bentuk spesimen uji adalah untuk membuat retakan dan patah pada daerah panjang pengukur. Pemilihan Pegangan dan Muka Pemilihan pegangan dan muka sangat penting. Spesimen uji akan tergelincir atau bahkan patah pada pegangan (rahang patah) jika pengaturannya tidak tepat. Ini akan menghasilkan hasil yang tidak valid. Pada permukaan apa pun yang bersentuhan dengan pegangan, muka harus selalu ditutup. sehingga spesimen uji tidak menyentuh muka secara langsung.

Pegangan material yang diuji menerima beban yang diberikan padanya. Objek uji diubah ukurannya untuk memenuhi persyaratan standar pengujian.



**Gambar 2.4** Contoh kurva uji tarik ( Prasetyo, D.R, 2019)

Tegangan yang digunakan pada kurva adalah tegangan membujur rata-rata dari pengujian tarik. Tegangan teknik tersebut diperoleh dengan cara membagi beban yang diberikan dibagi dengan luas awal penampang benda uji. Dituliskan seperti dalam persamaan 2.19 berikut: ( Prasetyo, D.R, 2019)

$$s = P/A_0$$

Keterangan ;

S : besarnya tegangan (kg/mm<sup>2</sup>)

P : beban yang diberikan (kg)

A<sub>0</sub> : Luas penampang awal benda uji (mm<sup>2</sup>)

Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan-regangan teknik adalah regangan linier rata-rata, yang diperoleh dengan cara membagi perpanjangan yang dihasilkan setelah pengujian dilakukan dengan panjang awal. Dituliskan seperti dalam persamaan berikut

$$e = \frac{L - L_0}{L_0}$$

Keterangan:

e : Besar regangan

L : Panjang benda uji setelah pengujian (mm)

L<sub>0</sub> : Panjang awal benda uji (mm)

Komposisi logam, perlakuan panas, deformasi plastik, laju regangan, suhu, dan keadaan tegangan selama pengujian semuanya memengaruhi bentuk dan ukuran kurva tegangan-regangan. Kekuatan tarik, kekuatan luluh, atau titik luluh, persen perpanjangan, dan pengurangan area adalah parameter yang digunakan untuk menggambarkan kurva tegangan-regangan logam. Keuletan material dijelaskan oleh dua parameter terakhir, sedangkan parameter pertama menunjukkan kekuatan. Kurva tegangan-regangan menunjukkan bahwa tegangan berbanding lurus dengan regangan di daerah elastis. Deformasi tidak berubah selama pembebanan di daerah ini. Ketika beban dihilangkan, tidak ada deformasi permanen di daerah elastis. Deformasi plastik kotor terjadi ketika beban melebihi nilai kekuatan luluh. Puntiran di lokasi ini sangat tahan lama, terlepas dari apakah tumpukan dihilangkan. Tekanan yang diharapkan untuk menciptakan deformitas plastik akan meningkat dengan meningkatnya regangan plastik.

Pada tegangan dan regangan yang dihasilkan, dapat diketahui nilai modulus elastisitas. Persamaannya dituliskan dalam persamaan

$$E = \frac{\sigma}{e} \quad (2.1)$$

Keterangan

E : Modulus elastisitas (kg/mm<sup>2</sup>)

e : Regangan

$\Sigma$  : Tegangan (kg/mm<sup>2</sup>)

Tegangan rekayasa (sebanding dengan beban F) terus meningkat seiring dengan peningkatan regangan karena pengerasan regangan awal lebih besar daripada yang dibutuhkan untuk mengimbangi penurunan luas penampang spesimen. Pada titik tertentu, pengerasan regangan mengakibatkan penurunan luas penampang yang lebih besar daripada peningkatan deformasi beban. Keadaan ini pertama kali terwujud di lokasi spesimen yang sedikit lebih lemah daripada kondisi tanpa beban. Semua puntiran plastik berikutnya terkumpul di sekitar sana, membuat contoh mulai mengalami penyusutan di sekitarnya. Beban aktual yang dibutuhkan untuk merusak spesimen akan berkurang, dan tegangan rekayasa dalam persamaan (1) juga akan berkurang hingga terjadi fraktur karena penurunan luas penampang lebih cepat daripada peningkatan deformasi yang disebabkan oleh pengerasan regangan.

Dari kurva uji tarik yang diperoleh dari hasil pengujian akan didapatkan beberapa sifat mekanik yang dimiliki oleh benda uji, sifat-sifat tersebut antara lain:

- 1) Kekuatan tarik
- 2) Kuat luluh dari material
- 3) Keuletan dari material
- 4) Modulus elastic dari material
- 5) Kelentingan dari suatu material
- 6) Ketangguhan.

a. Kekuatan Tarik

Kekuatan yang biasanya ditentukan dari suatu hasil pengujian tarik adalah kuat luluh (*Yield Strength*) dan kuat tarik

(*Ultimate Tensile Strength*). Kekuatan tarik atau kekuatan tarik maksimum (*Ultimate Tensile Strength / UTS*), adalah beban maksimum dibagi luas penampang lintang awal benda uji

$$\text{Kekuatan Tarik} : \sigma = \frac{\text{Max.load}}{A_0} \quad (2.2)$$

$$\text{Elongation} : \epsilon = \frac{\text{Extension}}{l_0} \times 100\% \quad (2.3)$$

$$\text{Modulus Tarik} : E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2.4)$$

di mana,

$L_0$  = Panjang awal

$\sigma$  = Sigma

$\epsilon$  = Epsilon

E = Modulus

$A_0$  = Luas Penampang

Untuk logam-logam yang liat, kekuatan tarik harus dikaitkan dengan beban maksimum yang dapat ditahan logam pada kondisi sesumbu untuk keadaan yang sangat terbatas. Tegangan tarik sering kali dicatat sebagai hasil uji tarik, namun nilai ini kurang mendasar dalam kaitannya dengan kekuatan material.

Pada logam-logam yang liat, kekuatan tarik harus dikaitkan dengan beban maksimum yang dapat ditahan logam secara sesumbu dalam kondisi sangat terbatas. Nilai ini sebenarnya memiliki sedikit kegunaan dalam menilai kekuatan logam terhadap tegangan yang lebih kompleks, yang biasanya ditemui.

Selama ini, kekuatan struktural biasanya ditentukan dengan mengurangi kekuatan tarik dengan faktor keamanan yang sesuai. Namun, tren saat ini adalah menggunakan kekuatan luluh logam lempung sebagai dasar untuk desain statis, yang lebih rasional. Meskipun lebih praktis menggunakan kekuatan tarik untuk menentukan kekuatan material, metode ini lebih

dikenal dan sangat berguna untuk mengidentifikasi material, mirip dengan bagaimana komposisi kimia dapat digunakan untuk mengidentifikasi logam atau material.

Terlebih lagi, mengingat elastisitas tidak sulit untuk diputuskan dan merupakan sifat yang dapat direproduksi, elastisitas berguna untuk pengendalian detail dan kualitas material. Sering kali, korelasi empiris antara kekuatan tarik dan berbagai sifat material lainnya, seperti kekerasan dan kekuatan leleh, digunakan. Untuk material yang lemah, kekakuan merupakan dasar yang berguna untuk perencanaan.

Kepekaan pengukuran regangan menentukan tegangan di mana deformasi plastik atau luluh dapat diamati. Sulit untuk mengidentifikasi secara akurat titik di mana deformasi plastik dimulai karena sifat sebagian besar material secara bertahap bergeser dari elastis ke plastik. Keakuratan pengukuran regangan dan data yang akan digunakan adalah dua faktor yang telah dipertimbangkan saat menentukan permulaan batas luluh.

Pengukuran regangan mikro pada skala regangan  $2 \times 10^{-6}$  in./in berfungsi sebagai dasar untuk batas elastis sebenarnya. Pergerakan beberapa ratus dislokasi dikaitkan dengan batas elastis yang sangat rendah. Daerah dengan hubungan tegangan-regangan proporsional mengalami tegangan tertinggi pada batas proporsional. Nilai ini diperoleh dengan memperhatikan penyimpangan dari potongan garis lurus dari tekukan regangan tekanan. Tegangan maksimum yang dapat ditahan material tanpa menyebabkan regangan sisa permanen yang dapat diukur setelah beban dihilangkan dikenal sebagai batas elastis. Batas elastis sebenarnya yang ditentukan oleh pengukuran regangan mikro sama dengan nilai batas elastis yang berkurang dengan meningkatnya akurasi pengukuran regangan. Batas elastis lebih besar dari batas proporsional untuk akurasi regangan (10-4

inci./inci.), yang sering digunakan dalam kursus teknik. Jaminan sejauh mungkin memerlukan sistem uji tumpukan yang dibuang.

## 2. Uji Keausan

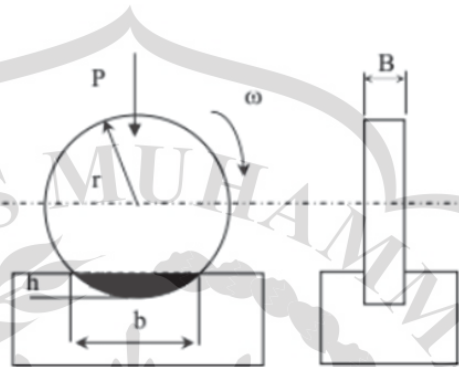
Sifat-sifat bahan yang digunakan sangat penting untuk pengoperasian mesin dan komponen struktural yang tepat. Insinyur memiliki akses ke berbagai macam bahan, termasuk polimer, keramik, komposit, logam, dan kaca. Sifat-sifat bahan ini terkadang membatasi penggunaannya. Namun, kinerja suatu bahan biasanya bergantung pada kombinasi sifat-sifat, sehingga jarang sekali sifat tunggal menjadi faktor penentu.

Beberapa sifat material, seperti kekerasan, kekuatan, gesekan, dan pelumasan, memengaruhi ketahanan aus, misalnya. Tribologi adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan bidang studi ini. Keausan dapat dicirikan sebagai kerusakan pada lapisan luar suatu material yang kuat, yang pada umumnya mencakup kehilangan material sedang karena erosi di antara permukaan material tersebut. Keausan jelas bukan sifat utama suatu material, melainkan reaksi material terhadap kerangka luar (kontak permukaan). Setiap material yang bersentuhan dengan material lain rentan terhadap keausan.

Berbagai mekanisme dapat menyebabkan keausan pada material apa pun. Ada berbagai pendekatan untuk pengujian keausan, yang semuanya bertujuan untuk meniru kondisi keausan yang sebenarnya. Metode Ogoshi adalah salah satunya, dan metode ini melibatkan pemberian beban gesekan dari cakram yang berputar pada objek uji. Beban gesekan ini akan menyebabkan kontak berulang antara permukaan, yang pada akhirnya akan menghancurkan sebagian material pada lapisan luar objek uji. Tingkat keausan material ditentukan dengan melihat ukuran jejak permukaan yang ditinggalkan

oleh material yang tergosok. Volume material yang dikeluarkan dari objek uji sebanding dengan ukuran dan kedalaman jejak keausan.

Ilustrasi skematis dari kontak permukaan antara revolving disc dan benda uji diberikan oleh gambar berikut ini.



**Gambar 2.5** uji keausan ( Sirojulmuminin, 2022)

B: tebal revolving disc (mm)

r: jari-jari disc (mm)

b: lebar celah material yang terabrasi (mm)

Dari sini kita bisa mendapatkan besar volume material yang terabrasi (W) yang diberikan oleh:

$$W = \frac{B \cdot b^3}{12 r} \quad (2.5)$$

Laju keausan (V) dapat ditentukan sebagai perbandingan volume terabrasi (W) dengan jarak luncur x (setting pada mesin uji):

$$V = \frac{W}{x} = \frac{B \cdot b^3}{12 r \cdot x} \quad (2.6)$$

Material jenis apapun akan mengalami keausan dengan mekanisme yang beragam, antara lain keausan adhesive, keausan abrasive, keausan fatik, keausan oksidasi dan keausan erosi.

### 3. Uji kekerasan

Nilai kekerasan logam adalah ukuran ketahanan logam terhadap deformasi permanen atau plastik. Secara umum, kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan terhadap deformasi. Kekerasan gores

adalah pengukuran yang didasarkan pada ketahanan logam terhadap goresan. Ada tiga jenis umum pengukuran kekerasan, tergantung pada bagaimana pengujian dilakukan. Skala Mohs digunakan untuk melakukan pengukuran ini. Kedalaman atau lebar goresan yang dibuat oleh indenter pada permukaan logam di bawah beban tertentu digunakan untuk menghitung kekerasan identifikasi. Karena mudah dilakukan dan tidak merusak spesimen secara signifikan, metode pengukuran indentasi populer pada saat itu. Pengujian kekerasan *Rockwell* sesuai dengan Standar ASTM E-18, pengujian kekerasan *Brinell* sesuai dengan Standar ASTM E-10, dan pengujian kekerasan *Vickers* sesuai dengan Standar ASTM E-29 adalah beberapa metode yang umum digunakan untuk mengukur kekerasan indentasi.

Uji kekerasan *Rockwell* mempertimbangkan kedalaman ruang dalam kondisi beban tetap sebagai penentu nilai kekerasan. Untuk mencegah spesimen dari lekukan dan tenggelam akibat beban penekan sebelum pengukuran, spesimen diberi beban kecil sebesar 10 kg. Spesimen segera dikenai beban besar setelah penerapan beban kecil. Pengukur dial pada alat dapat dibaca untuk menentukan kedalaman lekukan yang diubah menjadi skala langsung. Masing-masing dari 100 bagian yang membentuk dial memiliki penetrasi 0,0002 mm. Dial disesuaikan sehingga penetrasi kecil dan nilai kekerasan tinggi berkorelasi.

*Rockwell C* Indenter berupa kerucut intan dengan pembeban 150 kg. Umumnya digunakan untuk logam yang diperkeras dengan pemanasan. Pembagian ini berdasarkan kombinasi jenis indenter yang digunakan dengan beban yang diberikan. ( Muhammad Harahap 2018)

Rumus

$$HRC = E - e \quad (2.7)$$

E : Nilai konstanta 130 pada injector pola dan nilai 100 pada injector intan

e : Nilai kedalaman penekanan yang diberi beban utama.