

**KARAKTERISASI SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO  
PARANG TORAJA DIBUAT DENGAN  
PENEMPAAN TRADISIONAL**

*Characterization of Mechanical Properties and Microstructure of Toraja  
Machete Made by Traditional Forging*

**JONO TANGDIALLA  
D022211002**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024**



## LEMBAR PENGESAHAN

### KARAKTERISASI SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PARANG TORAJA DIBUAT DENGAN PENEMPAAN TRADISIONAL

Disusun dan diajukan oleh

**JONO TANGDIALLA**

**D022211002**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik Mesin  
Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin  
pada tanggal 23 Januari 2024  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui  
Komisi Penasehat,

Pembimbing Utama



**Dr. Hamdi Arsyad, ST., MT**  
NIP. 197503222002121001

Pembimbing Pendamping



**Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT**  
NIP. 197404151999031001

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



**Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli,**  
ST.,MT.,IPM.,ASEAN. Eng  
NIP. 19730926 200012 1 002

Ketua Program Studi  
Magister Teknik Mesin



**Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST, MT**  
NIP. 197911122008122002



## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CITA

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Jono Tangdialla  
Nomor induk mahasiswa : D022211002  
Program studi : S2 Teknik Mesin

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul “Karakterisasi Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Parang Toraja Dibuat dengan Penempaan Tradisional” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Dr. Hairul Arsyad, ST., MT selaku Pembimbing Utama dan Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT selaku Pembimbing Pendamping). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 23 Januari 2024

Yang Menyatakan



Jono Tangdialla



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan dan kesempatan menyelesaikan tesis ini dengan baik. Penyusunan tesis ini tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Rektor Universitas Hasanuddin dan Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin serta para dosen yang memfasilitasi saya selama menempuh pendidikan program magister.
2. Bapak Dr. Hairul Arsyad, ST., MT sebagai pembimbing I.
3. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT sebagai pembimbing II.
4. Teman-teman mahasiswa Teknik Mesin atas dukungan moril dan doanya dalam pembuatan tesis ini.
5. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu mendukung saya, secara khusus kepada almarhum ibu saya yang selalu memberikan motivasi serta menitipkan amanah kepada saya untuk menyelesaikan pendidikan program magister ini.

Dalam penulisan tesis ini penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun diperlukan demi meningkatkan ilmu dan perbaikan tesis ini pada masa mendatang demi manfaat yang lebih baik.

Penulis

Jono Tangdialla



## ABSTRAK

**JONO TANGDIALLA.** Karakterisasi Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Parang Toraja dibuat dengan Penempaan Tradisional (dibimbing oleh **Hairul Arsyad, Lukmanul Hakim Arma**).

Parang toraja adalah parang identik dengan budaya toraja yang dibuat dengan metode tempa tradisional oleh pande besi di toraja. Kualitas parang toraja yang terbuat dari pegas daun bekas belum teridentifikasi secara eksperimental dari segi karakteristik sifat mekanik dan struktur mikro. Kemajuan teknologi yang pesat memungkinkan untuk mengidentifikasi karakteristik sifat mekanik dan struktur mikro parang toraja yang ada saat ini. Selain itu parang Toraja saat ini mempunyai keterbatasan pada ketangguhan pada sisi tajam yaitu mudah rompal. Dalam penelitian ini dilakukan metode perlakuan panas dengan media pendingin air, oli dan udara serta tempering pada hasil tempa parang Toraja dengan temperatur 350°C – 550°C sebagai upaya untuk perbaikan kualitas parang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa parang toraja tergolong baja karbon sedang dengan kadar karbon 0.5%. Kekerasan vickers parang toraja adalah 305.6 HV pada sisi tebal, 685.7 HV pada sisi tengah, dan 729.1 HV pada sisi tajam parang. Nilai kekerasan tertinggi untuk parang setelah diberikan perlakuan panas dengan media pendingin air, oli dan udara serta temperatur tempering didapatkan pada media pendingin oli dengan temperatur temper 350°C, yaitu 575,3 HV. Struktur mikro parang Toraja terbentuk oleh struktur mikro martensit yang terdapat pada sisi tajam parang. Ketangguhan parang diuji dan kerusakan sisi tajam diukur secara langsung dengan hasil 0.4 mm pada impak pertama, meskipun begitu kerusakan menurun pada impak kedua hingga kesepuluh dengan nilai kerusakan sebesar 0.2 mm yang merupakan nilai dari parang Toraja tradisional yang merupakan nilai paling rendah dibanding parang Toraja dengan variasi perlakuan panas. Berdasarkan hasil penelitian ini, kualitas parang yang baik disarankan untuk parang dengan ketangguhan yang baik tanpa mengurangi nilai kekerasan atau parang yang memiliki ketangguhan dan kekerasan yang tinggi.

**Kata kunci:** Parang, Heat treatment, Sifat mekanik, Struktur mikro, Baja karbon





## ABSTRACT

**JONO TANGDIALLA.** *Characterization of Mechanical Properties and Microstructure of Toraja Machete Made by Traditional Forging* (supervised by **Hairul Arsyad, Lukmanul Hakim Arma**)

The Toraja machete is synonymous with Toraja culture, made with traditional forging methods by iron smiths in Toraja. The quality of Toraja machetes made from used leaf springs has yet to be experimentally identified regarding mechanical properties and microstructure characteristics. Rapid technological advances make it possible to identify the characteristics of mechanical properties and microstructure of existing Toraja machetes. In addition, the current Toraja machete has limitations on the toughness on the sharp side, which is easy to romp. In this study, the heat treatment method was carried out with water, oil, and air cooling media and tempering on the forged Toraja machete with a temperature of 350 ° C to 550 ° C to improve the quality of the machete. The results showed that the Toraja machete is classified as medium carbon steel with a carbon content of 0.5%. Vickers hardness of the Toraja machete is 305.6 HV on the thick side, 685.7 HV on the middle side, and 729.1 HV on the sharp side of the machete. The highest hardness value for the machete after heat treatment with water, oil and air cooling media and tempering temperature is obtained in oil cooling media with a temperature of 350 ° C, which is 575.3 HV. The microstructure of the Toraja machete is formed by the martensite microstructure found on the sharp side of the machete. The toughness of the machete was tested, and the damage to the cutting edge was measured directly with the result of 0.4 mm at the first impact. Even so, the damage decreased at the second to tenth impact with a damage value of 0.2 mm, which is the value of the traditional Toraja machete, which is the lowest value compared to the Toraja machete with heat treatment variations. Based on the results of this study, a good quality machete is recommended for a machete with good toughness without reducing the hardness value or a machete with high toughness and hardness.

**Keywords:** *machete, Toraja, heat treatment, mechanical properties, microstructure, carbon steel*



## DAFTAR ISI

|                                                      |     |
|------------------------------------------------------|-----|
| DAFTAR ISI.....                                      | i   |
| DAFTAR GAMBAR .....                                  | iii |
| DAFTAR TABEL .....                                   | vi  |
| BAB I PENDAHULUAN.....                               | 1   |
| 1.1 Latar Belakang.....                              | 1   |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                            | 4   |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....                           | 4   |
| 1.4 Batasan Masalah.....                             | 4   |
| 1.5 Manfaat Penelitian.....                          | 5   |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....                         | 6   |
| 2.1 Referensi Penelitian.....                        | 6   |
| 2.2 Parang Toraja.....                               | 10  |
| 2.3 Pegas Daun .....                                 | 15  |
| 2.4 Penempaan.....                                   | 19  |
| 2.5 Klasifikasi Material .....                       | 23  |
| 2.6 Heat Treatment .....                             | 26  |
| 2.7 Quenching .....                                  | 28  |
| 2.8 Media Pendingin.....                             | 29  |
| 2.9 Struktur Mikro .....                             | 30  |
| 2.10 Pengujian Kekerasan .....                       | 34  |
| 2.11 Uji Komposisi Kimia.....                        | 40  |
| Pengujian ketangguhan/ <i>drop weight test</i> ..... | 43  |
| METODE PENELITIAN .....                              | 52  |



|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....          | 52 |
| 3.2 Alat dan Bahan .....                       | 52 |
| 3.3 Prosedur Penelitian.....                   | 56 |
| 3.4 Pengujian Sampel .....                     | 59 |
| 3.5 Diagram Alir Penelitian.....               | 64 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....              | 66 |
| 4.1 Standarisasi Pembuatan Parang Toraja ..... | 66 |
| 4.2 Pengujian Komposisi Kimia.....             | 76 |
| 4.3 Pengujian Kekerasan .....                  | 77 |
| 4.4 Struktur Mikro .....                       | 82 |
| 4.5 Uji Ketangguhan.....                       | 86 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....                | 92 |
| 5.1 Kesimpulan.....                            | 92 |
| 5.2 Saran.....                                 | 93 |
| DAFTAR PUSTAKA .....                           | 94 |





## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 1.</b> Skema Proses Penempaan Lipat .....                                  | 6  |
| <b>Gambar 2.</b> (a) Morfologi benda uji tarik dan (b) dimensi benda uji tarik ..... | 8  |
| <b>Gambar 3.</b> Diagram Skema Perlakuan Panas .....                                 | 10 |
| <b>Gambar 4.</b> Parang Toraja.....                                                  | 12 |
| <b>Gambar 5.</b> Skema ilustrasi pembuatan parang Toraja dengan cara tradisional...  | 14 |
| <b>Gambar 6.</b> Cross Section tipe B .....                                          | 17 |
| <b>Gambar 7.</b> Cross Section tipe C .....                                          | 17 |
| <b>Gambar 8.</b> Susunan lengkap pegas daun .....                                    | 18 |
| <b>Gambar 9.</b> Pengerjaan dengan keadaan pejal .....                               | 20 |
| <b>Gambar 10.</b> Pengerjaan dengan penempaan.....                                   | 20 |
| <b>Gambar 11.</b> Penempaan palu .....                                               | 21 |
| <b>Gambar 12.</b> Penempaan timpa.....                                               | 21 |
| <b>Gambar 13.</b> Penempaan upset .....                                              | 22 |
| <b>Gambar 14.</b> Penempaan tekan .....                                              | 22 |
| <b>Gambar 15.</b> Penempaan Rol .....                                                | 23 |
| <b>Gambar 16.</b> Kristal FCC dan Kristal BCC .....                                  | 23 |
| <b>Gambar 17.</b> Diagram Isothermal Transformation .....                            | 28 |
| <b>Gambar 18.</b> Diagram Fasa Fe-Fe <sub>3</sub> C .....                            | 31 |
| <b>Gambar 19.</b> Mesin uji kekerasan rockwell .....                                 | 35 |
| <b>Gambar 20.</b> Media pengujian uji rockwell .....                                 | 36 |
| <b>Gambar 21.</b> Uji Vickers.....                                                   | 39 |
| <b>Gambar 22.</b> Pengujian Impact Charpy .....                                      | 49 |
| <b>Gambar 23.</b> Pengujian Impact Izod .....                                        | 50 |
| <b>Gambar 24.</b> Palu .....                                                         | 53 |
| <b>Gambar 25.</b> Landasan besi.....                                                 | 53 |
| <b>Gambar 26.</b> Tungku pemanas.....                                                | 53 |
| <b>27.</b> Tang Jepit .....                                                          | 54 |
| <b>28.</b> Wadah Media Pendingin.....                                                | 54 |
| <b>29.</b> Mesin Gerinda Tangan .....                                                | 55 |
| <b>30.</b> Termometer Infrared.....                                                  | 55 |



|                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 31.</b> Pegas Daun Mobil .....                                                                                                         | 56 |
| <b>Gambar 32.</b> Arang .....                                                                                                                    | 56 |
| <b>Gambar 33.</b> Proses penempaan parang toraja.....                                                                                            | 57 |
| <b>Gambar 34.</b> Siklus pemanasan.....                                                                                                          | 58 |
| <b>Gambar 35.</b> Sampel uji komposisi kimia.....                                                                                                | 58 |
| <b>Gambar 36.</b> Sampel uji kekerasan dan struktur mikro .....                                                                                  | 59 |
| <b>Gambar 37.</b> Alat Uji Komposisi Kimia .....                                                                                                 | 60 |
| <b>Gambar 38.</b> Alat uji kekerasan .....                                                                                                       | 61 |
| <b>Gambar 39.</b> Skema alat uji kerusakan parang .....                                                                                          | 62 |
| <b>Gambar 40.</b> Lokasi spesimen pada parang toraja .....                                                                                       | 63 |
| <b>Gambar 41.</b> Dimensi spesimen uji impak.....                                                                                                | 63 |
| <b>Gambar 42.</b> Diagram Alir Penelitian.....                                                                                                   | 65 |
| <b>Gambar 43.</b> Pegas daun yang telah dibelah.....                                                                                             | 67 |
| <b>Gambar 44.</b> Bentuk ujung parang yang dimasukkan pegangan .....                                                                             | 68 |
| <b>Gambar 45.</b> Bentuk lengkungan parang .....                                                                                                 | 68 |
| <b>Gambar 46.</b> Bentuk yang telah dipipihkan di bagian depan.....                                                                              | 69 |
| <b>Gambar 47.</b> Bentuk yang telah dipipihkan di bagian belakang.....                                                                           | 69 |
| <b>Gambar 48.</b> Bentuk sisi tajam pada parang .....                                                                                            | 70 |
| <b>Gambar 49.</b> Bentuk sisi tajam pada parang .....                                                                                            | 70 |
| <b>Gambar 50.</b> Merapikan bentuk parang .....                                                                                                  | 71 |
| <b>Gambar 51.</b> Proses gerinda permukaan parang .....                                                                                          | 71 |
| <b>Gambar 52.</b> Proses quenching .....                                                                                                         | 72 |
| <b>Gambar 53.</b> Proses menghaluskan permukaan parang .....                                                                                     | 72 |
| <b>Gambar 54.</b> Proses pengasahan sisi tajam parang .....                                                                                      | 73 |
| <b>Gambar 55.</b> Grafik nilai kekerasan pegas daun dan parang toraja .....                                                                      | 78 |
| <b>Gambar 56.</b> Grafik nilai kekerasan pada variasi media pendingin dan variasi temperatur temper pada sampel H3 (sisi tajam parang).....      | 80 |
| <b>Gambar 57.</b> Nilai kekerasan sebelum ditemper dan nilai kekerasan optimum pada temperatur temper dan media pendingin setelah di temper..... | 80 |
| <b>Gambar 58.</b> Foto struktur mikro pegas daun .....                                                                                           | 82 |



|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 59.</b> Foto struktur mikro parang tradisional toraja (a) sisi tebal; (b) sisi tengah; (c) sisi tajam ..... | 83 |
| <b>Gambar 60.</b> Foto struktur mikro parang toraja dengan variasi media pendingin dan temperatur temper.....         | 85 |
| <b>Gambar 61.</b> Grafik variasi nilai kerusakan terhadap beban.....                                                  | 87 |
| <b>Gambar 62.</b> Grafik pengujian impak metode charpy .....                                                          | 90 |



## DAFTAR TABEL

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabel 1.</b> Komposisi Kimia dari Baja Percobaan (wt%) .....  | 9  |
| <b>Tabel 2.</b> Nilai Pedoman Umum Suhu Penempaan .....          | 20 |
| <b>Tabel 3.</b> Skala kekerasan rockwell .....                   | 36 |
| <b>Tabel 4.</b> Skala kekerasan .....                            | 37 |
| <b>Tabel 5.</b> Skala kekerasan rockwell superfical .....        | 38 |
| <b>Tabel 6.</b> Variabel Penelitian Quenching/ Normalizing ..... | 57 |
| <b>Tabel 7.</b> Variabel Penelitian Tempering.....               | 57 |
| <b>Tabel 8.</b> Standarisasi pembuatan parang Toraja.....        | 73 |
| <b>Tabel 9.</b> Tabel Komposisi Kimia Pegas Daun .....           | 76 |
| <b>Tabel 10.</b> Tabel Komposisi Kimia Parang Toraja .....       | 76 |
| <b>Tabel 11.</b> Tabel hasil pengujian impak parang.....         | 90 |



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Parang atau *la'bo'* dalam bahasa Toraja merupakan sebuah alat potong yang terbuat dari logam dengan berbagai manfaat bagi masyarakat di Toraja. Parang sangat penting dalam kehidupan masyarakat Toraja dengan fungsi antara lain sebagai alat sembelih hewan pada kegiatan upacara adat, peralatan dapur, perkebunan dan pertanian serta sebagai senjata perang pada zaman dahulu. Produksi parang toraja dilakukan oleh para pengrajin setempat dengan cara di tempa. Kegiatan ini telah dilakukan secara turun temurun sejak dahulu oleh masyarakat Toraja. Di Kabupaten Toraja Utara terdapat satu desa yang merupakan pusat/sentra logam pande besi yakni Desa La'bo' yang terletak di Kecamatan Sanggalangi'. Desa La'bo' dikatakan sebagai Sentra Logam Pande Besi karena mayoritas penduduk di desa ini yang memiliki pekerjaan utama sebagai pengrajin Parang (*La'bo'*) khas Toraja (Pabalik, 2021).

Dalam perkembangannya, penempaan telah mengalami kemajuan pesat. Beberapa metode penempaan telah digunakan dalam di industri manufaktur yang modern. Namun demikian tidak membuat para pengrajin pande besi meninggalkan cara tradisional dalam memproduksi parang. Peralatan produksi yang sederhana dan mudah ditemukan dapat mempengaruhi biaya produksi menjadi relatif rendah. Dengan biaya yang relatif rendah produksi parang cocok untuk industri rumahan skala kecil. Para pande besi di Toraja melakukan penempaan dengan cara pemberian beban atau hunjaman (pukulan) secara berulang dengan palu di atas landasan terhadap logam yang telah dipanaskan terlebih dahulu pada suhu tertentu di dalam tungku yang berisi arang. Pada proses akhir dilakukan pengerasan dan pendinginan cepat dengan air sebagai media pendingin.



engan metode pembuatan parang Toraja yang digunakan, beberapa hal dipelajari secara ekstensif yang berkaitan dengan hasil penempaan pada g Toraja. Sifat mekanik dan struktur mikro pada bahan atau logam yang

ditempa dapat mengalami perubahan selama proses penempaan terjadi. Beberapa perlakuan selama proses penempaan telah diteliti dan diketahui dapat mempengaruhi sifat mekanik dan struktur mikro pada logam hasil tempaan. Hasil tempaan dengan kekuatan mekanik yang tinggi adalah hasil tempaan yang memiliki struktur mikro yang halus. Proses penempaan lipat adalah salah satu metode yang menghasilkan struktur mikro yang lebih homogen dan lebih halus (Paveebunvipak et al., 2017). Logam yang ditempa secara lipat membuat struktur mikro lebih halus dan dapat meningkatkan kekuatan tarik, kekuatan lentur, dan kekuatan impak.

Selain itu, proses untuk mendapatkan kekuatan mekanik baja yang baik juga dapat dilakukan dengan proses hardening. Proses hardening merupakan suatu proses perlakuan panas yang dilakukan pada temperatur tinggi untuk meningkatkan kekerasan suatu logam. Metodologi *hardening* diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu: *vacuum hardening*, *vacuum induction hardening*, dan *case hardening* (Madhankumar et al., 2020). Pada umumnya proses hardening digunakan pande besi di Toraja adalah proses pengerasan dengan metode *vacuum induction hardening*, yaitu untuk meningkatkan daya tahan dan kekerasan bahan yang pada dasarnya merupakan kombinasi antara pemanasan dan pendinginan. Pertimbangan pada dua parameter tersebut terjadi pada bahan berubah bentuk dengan pemanasan dan kemudian dengan cepat didinginkan (*quenching*) untuk meningkatkan kekerasan dan daya tahan komponen.

Pembuatan parang oleh pande besi di Toraja pada umumnya menggunakan material bahan dari pegas daun dari mobil yang sudah tidak terpakai. Pegas daun mobil diklasifikasikan kedalam baja karbon sedang yang diproduksi melalui proses yang panjang, meliputi proses peleburan biji besi kemudian menjadi baja berbentuk billet hingga menjadi pegas. Meskipun melewati proses pemurnian baja yang sedemikian rupa, pada kenyataannya baja tetap menvisakan oksida baja dari proses oksidasi yang lazim disebut sebagai *oxide inclusions*. Inklusi inilah yang dapat menimbulkan korosi pada baja yang dapaturangi kekuatan dari baja sehingga dapat mempengaruhi kekuatan pada g yang ditempa. Inklusi yang terdapat pada baja tersebut dapat berkurang





dengan cara menempa baja berulang kali. Penempaan baja berulang kali membentuk struktur mikro menjadi lebih padat sehingga dapat mengurangi inklusi dalam baja (Choliq, 2020).

Dengan adanya berbagai proses untuk meningkatkan kekuatan baja maka kekurangan yang ada pada baja sebagai bahan baku parang sedikit banyak dapat diminimalisir. Kekuatan serta ketangguhan baja membuat parang yang dihasilkan pada kualitas yang optimal. Zhang et al., (2022) meneliti pengaruh quenching dan tempering pada sifat mekanik pada baja. Dalam penelitiannya temperatur tempering divariasikan antara 400°C – 600°C dengan pendinginan air yang menghasilkan kekuatan dan ketangguhan optimal pada temperatur tempering pada 600°C. Trihutomo, (2015) meneliti pengaruh kekerasan setelah proses hardening dengan media pendingin yang berbeda. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan media pendingin, dengan media pendingin air garam mendapatkan hasil kekerasan paling tinggi namun untuk media pendinginan yang terbaik adalah media pendingin oli karena menghasilkan kekerasan yang tinggi disertai dengan tingkat keuletan yang baik sehingga tidak getas.

Parang toraja telah digunakan dan menjadi peralatan yang sangat dibutuhkan dalam kehidupan masyarakat Toraja namun informasi mengenai sifat mekanik dan material parang Toraja tidak begitu banyak. Secara khusus, belum ada deskripsi rinci tentang karakteristik material parang Toraja. Meskipun banyak peneliti yang melakukan penelitian tentang hal serupa namun perbedaan setiap langkah dalam proses pembuatan parang Toraja akan membuat perbedaan pada hasil produksi. Berdasarkan kondisi tersebut peneliti akan memeriksa secara sistematis dan sifat mekanik dari parang Toraja. Dengan kemajuan teknologi serta ilmu tentang proses pembuatan parang maka peneliti juga memadukan proses-proses tersebut untuk mengoptimalkan hasil dari parang Toraja. Melalui penelitian ini, penulis berharap penelitian ini menjadi salah satu referensi yang baru untuk memproduksi parang Toraja untuk kalangan industri rumahan di

a.



## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian permasalahan pada latar belakang yang telah dibahas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh hasil tempa dengan menggunakan metode tradisional yang digunakan saat ini oleh pande besi di Toraja terhadap sifat mekanik dan struktur mikro parang Toraja?
2. Bagaimana pengaruh hasil tempa dengan proses quenching dan proses tempering terhadap kekerasan, ketangguhan, dan struktur mikro parang Toraja?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang akan dilakukan oleh penulis, sebagai berikut :

1. Menganalisa pengaruh hasil tempa dengan metode tradisional di Toraja terhadap sifat mekanik dan struktur mikro parang Toraja.
2. Menganalisa pengaruh hasil tempa dengan proses quenching dan proses tempering terhadap kekerasan, ketangguhan dan struktur mikro parang Toraja.

## 1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini digunakan batasan masalah untuk membatasi asumsi-asumsi parameter yang pengaruhnya sangat kecil dan bersifat homogen. Adapun batasan masalah yang dimaksud adalah sebagai berikut:

1. Bahan pembuatan parang dari baja pegas daun mobil yang sudah tidak terpakai
2. Pembuatan sampel dilakukan di tempat pande besi Toraja
3. Media pendiginan yang digunakan adalah media pendingin oli
4. Melakukan pengamatan struktur mikro sampel material
5. Melakukan uji tarik material
6. Melakukan uji kekerasan material



### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat memberikan informasi yang spesifik mengenai sifat mekanik dan struktur mikro parang Toraja
2. Diharapkan dapat memberikan informasi yang baru tentang metode produksi dengan peningkatan kualitas parang toraja menggunakan peralatan yang mudah dijangkau oleh pande besi di Toraja
3. Dapat menjadi referensi untuk pengembangan penelitian selanjutnya tentang parang Toraja



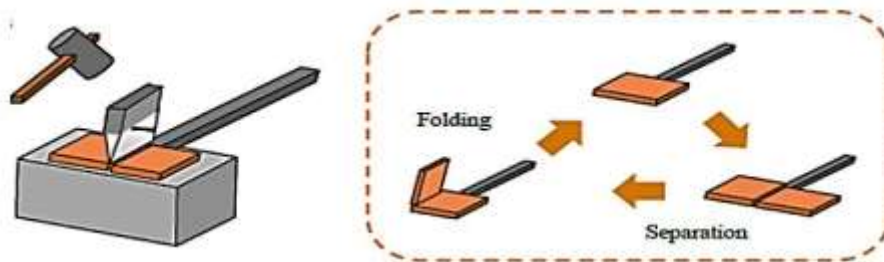
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Referensi Penelitian

##### 2.1.1 *Effect of Fold-Forging Techniques for Swords Making Process on Mechanical Properties of Medium Carbon Steel*

Kotchpond Paveebunvipak, Kittipong Yu-on, Teerasak Rotpaisarnkit, Janwat Sakavaratikul, dan Vitoon Uthaisangsuk (2016) melakukan penelitian dengan menyelidiki dan meningkatkan sifat mekanik baja Nam-Phee dengan menerapkan teknik pembuatan pedang Samurai termasuk penempaan lipat dan pencampuran kelas baja. Bahan yang digunakan adalah baja Nam-Phee, baja grade AISI 1055, dan AISI 1010. Baja ditempa dengan teknik seperti yang digunakan dalam proses tradisional dan ditempa lipat seperti pada gambar 1. Ada empat kondisi penempaan yang diselidiki, yaitu: baja Nam-Phee tanpa penempaan lipat, baja Nam-Phee dengan penempaan lipat, baja kelas 1055 dengan penempaan lipat, dan baja kelas 1055 dicampur dengan baja kelas 1010. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa sampel baja Nam-Phee yang ditempa lipat jelas menunjukkan struktur mikro yang lebih homogen dan lebih halus. Kekuatan tarik yang ditingkatkan dari spesimen Nam-Phee mendekati sifat baja Tamahagane yang digunakan untuk membuat pedang samurai.



**Gambar 1.** Skema Proses Penempaan Lipat

(Paveebunvipak et al., 2017)



### 2.1.2 Pengaruh Penempaan Berulang Terhadap Kepadatan Struktur Mikro dan Potensi Korosi Pada Pisau Sembelih Ternak

Abdul Choliq (2020) melakukan penelitian terhadap pegas daun mobil yang dibuat pisau sembelih ternak melalui proses tempa tradisional secara berulang. Dari hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa pada material pegas tampak banyak inklusi berupa flek-flek menyebar rata. Di sekitar inklusi tampak potensi korosi akibat antara sisa air saat preparasi yang terjebak pada celah di sekitar inklusi dengan oksigen. Pegas yang telah ditempa secara berulang dengan beberapa kali pemanasan dan penempaan dan telah terbentuk menjadi sebuah pisau menghasilkan struktur mikro menjadi lebih padat dan halus. Inklusi dan oksidasi pada material tidak tampak jelas lagi. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penempaan yang dilakukan secara berulang-ulang memberikan efek kepadatan struktur mikro pisau yang lebih optimal sehingga inklusi menjadi lebih kecil dan potensi oksidasi dapat diminimalisir.

### 2.1.3 Mechanical Properties of Samurai Swords (Carbon Steel) Made using a Traditional Steelmaking Technology (tatara)

Okayasu M, Sakai H and Tanaka T (2015) melakukan penelitian terhadap bahan dan sifat mekanik pedang samurai (pedang Jepang) yang dibuat dengan menggunakan teknologi pembuatan baja tradisional (tatara). Spesimen diambil dari pedang Jepang yang dibuat dari *tamahagane* dengan metode *tatara*. Pengujian tarik dilakukan pada kecepatan pembebanan 1 mm/menit sampai benda uji patah sempurna di suhu kamar menggunakan sistem elektro servo hidrolik dengan kapasitas 50 kN. Karakteristik kegagalan diperiksa dengan metode pembebanan siklik (1kN). Karakteristik mikrostruktur diperiksa dengan mikroskop optik dan spektroskopi sinar-X disperse energi (EDX). Tegangan sisa diselidiki dengan difraktometri sinar-X (XRD), dengan waktu pengukuran 20 menit. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa *tamahagane* dari mana pedang dibuat terbentuk

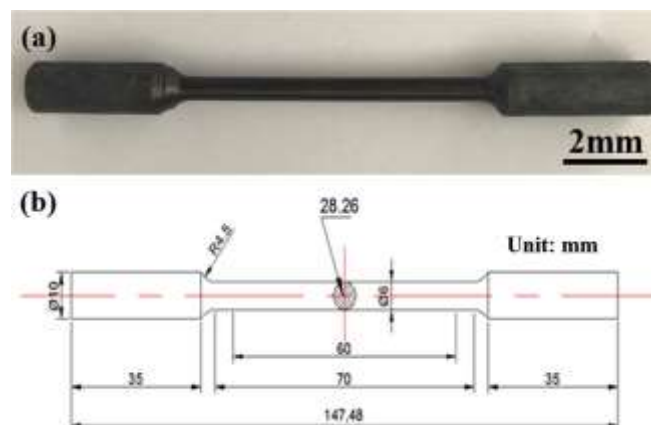


mikrostruktur halus dengan beberapa inklusi residu, struktur berbasis fosfor. Kandungan karbon pedang bervariasi tergantung wilayah, sekitar 0,55% C, 0,40% C, dan 0,20% C di tepi tajam, bidang samping dan

tepi tebal masing-masing. Kekerasan maksimum rata-rata di wilayah tepi tajam setelah pendinginan adalah sekitar 6 GPa, yaitu sekitar tiga kali lebih tinggi daripada di wilayah lain. Sifat tarik pedang sedikit lebih rendah daripada S55C meskipun struktur berbutir halus dan tegangan tekan sisa tinggi pada pedang. Sifat tarik pedang yang rendah disebabkan oleh banyaknya inklusi yang ada.

#### 2.1.4 *Effect of the Quenching and Tempering Temperatures on the Microstructure and Mechanical Properties of H13 Steel*

Jian Wang , Zinuo Xu, and Xiaofeng Lu (2020) melakukan penelitian tentang pengaruh suhu pendinginan dan temper pada struktur mikro sifat mekanik baja H13 yang sering digunakan untuk pembuatan pegas cakram suhu tinggi. Sampel yang digunakan dalam percobaan ini terdiri dari baja tempa anil elektroslog H13 (impor Swedia 8407SUPREME), dan komposisi kimianya (wt. %) diukur dengan spektrometri massa. Pemanasan dilakukan pada temperatur 1020°C, 1040°C , 1060°C selama 30 menit dilanjutkan pendinginan dengan oli, kemudian di tempering pada temperatur 570°C, 590°C, 610°C selama 120 menit dan didinginkan dengan pendinginan udara. Hasil menunjukkan ketika suhu pendinginan 1040°C dan suhu temper 570°C, baja H13 setelah pendinginan dan temper memiliki struktur mikro yang seragam dengan kekuatan dan ketangguhan yang baik.



**Gambar 2.** (a) Morfologi benda uji tarik dan (b) dimensi benda uji tarik

(Wang, 2020)



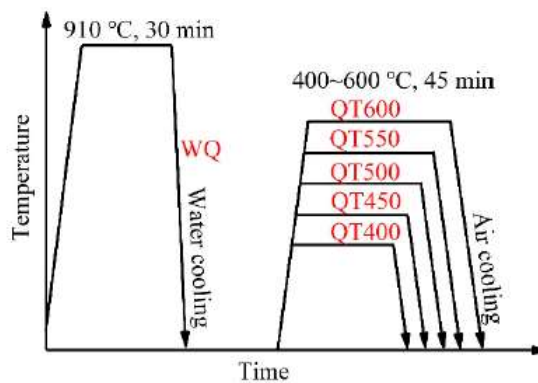
### 2.1.5 *Effect of Quenching and Tempering on Mechanical Properties and Impact Fracture Behavior of Low-Carbon Low-Alloy Steel*

Yajing Zhang, Jianhua Yang, Daheng Xiao, Deng Luo, Chende Tuo and Huibin Wu (2022) dalam penelitiannya menyelidiki tentang pengaruh quenching dan tempering pada sifat mekanik dan dampak perilaku patah baja paduan karbon rendah. Eksperimen dilakukan dengan mengoptimalkan kekuatan dan ketangguhan baja paduan karbon rendah menggunakan metode quenching dan tempering. Sampel uji diambil dari baja paduan rendah karbon dengan komposisi kimia seperti pada tabel 1. Baja dilelehkan dengan vakum dan dicor menjadi ingot sebesar 25 kg, yang dipanaskan kembali pada suhu 1200°C selama 6 jam dan ditempa menjadi pelat setebal 70 mm, kemudian ditempa di-hotrolled dengan ketebalan 14 mm. Spesimen baja pertama kali diaustenisasi pada 910°C selama 30 menit dan kemudian didinginkan dengan air (WQ) hingga suhu kamar. Pengujian tarik dilakukan menurut standar GB/T 228. 1-2010 pada mesin uji tarik universal elektronik. Menurut standar GB/T 229-2007, spesimen uji impact Charpy V berlekuk 10 mm x 10 mm x 55 mm diuji di -40°C pada alat uji impact 450 J. Penelitian ini memvariasikan temperature tempering antara 400 °C hingga 600 °C selama 45 menit.

**Tabel 1.** Komposisi Kimia dari Baja Percobaan (wt%)

| C    | Si   | Mn   | Al   | Cr   | Nb    | Ti    | Ni   | Cu  | Fe   |
|------|------|------|------|------|-------|-------|------|-----|------|
| 0.08 | 0.18 | 1.61 | 0.03 | 0.16 | 0.037 | 0.013 | 0.26 | 0.2 | Bal. |





**Gambar 3.** Diagram Skema Perlakuan Panas

Berdasarkan hasil penelitian ditemukan bahwa struktur mikro baja setelah perlakuan temper yang berbeda terutama terdiri dari martensit, dan sifat mekaniknya tergantung pada suhu temper. Dengan peningkatan suhu temper, bilah martensit bergabung dan menjadi kasar. Selain itu, pemulihan terjadi, menyebabkan penurunan kepadatan dislokasi. Selanjutnya, kekuatan baja secara bertahap menurun, dan energi tumbukan meningkat. Ketika suhu temper 600°C, kekuatan luluh optimal (557 MPa) dan energi impact (331 J) tercapai.

#### 2.1.6 Analisa Kekerasan Pada Pisau Berbahan Baja Karbon Menengah Hasil Proses Hardening Dengan Media Pendingin Yang Berbeda

Prihanto Trihutomo (2015) menganalisa kekerasan pada pisau dengan bahan baja karbon menengah yang diproses hardening dengan media pendingin yang berbeda. Spesimen yang digunakan dibentuk dari proses penempaan yang didinginkan dengan media air, air campur garam 10%, oli, dan didinginkan melalui udara. Pengujian kekerasan menggunakan Vickers Hardness Test dengan beban 100 kg. Dari pengujian tersebut didapatkan bahwa nilai kekerasan yang paling tinggi didapatkan melalui media pendinginan air garam sedangkan nilai kekerasan terendah adalah media pendinginan udara. Namun media pendingin oli merupakan media yang paling baik untuk digunakan karena menghasilkan tingkat kekerasan yang tinggi dan tingkat kegetasan yang rendah.

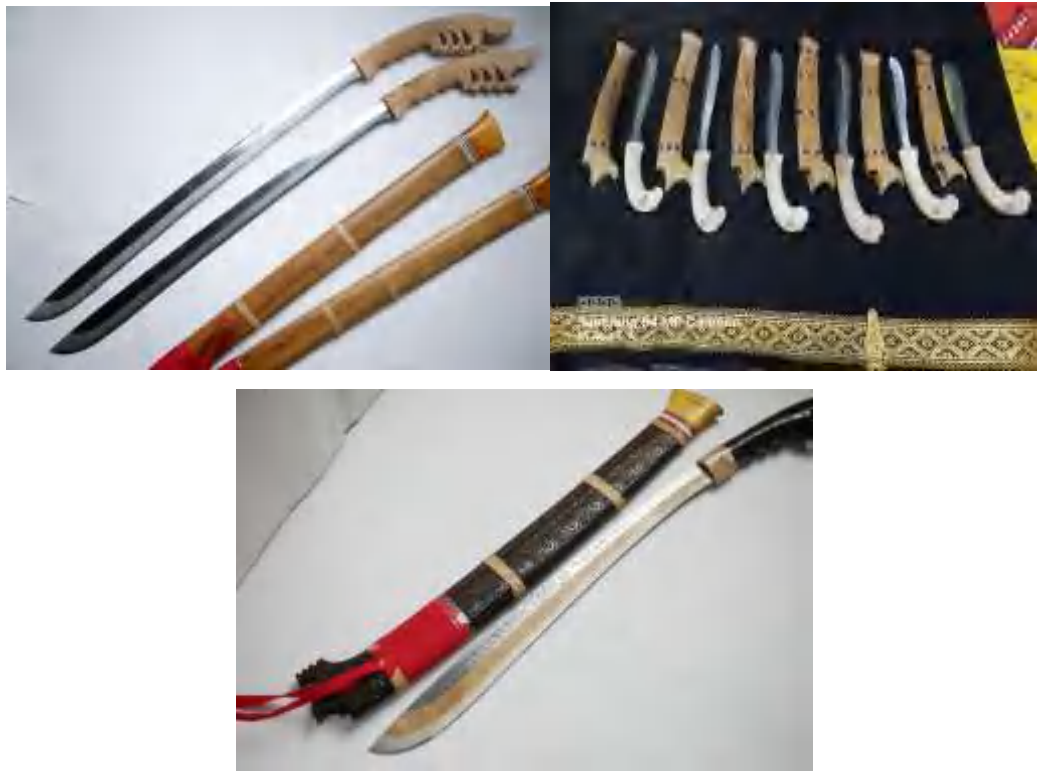


ng Toraja



Parang atau *La'bo'* dalam bahasa Toraja merupakan salah satu senjata masyarakat Toraja dan sudah digunakan sejak zaman penjajahan, namun dengan perubahan zaman serta kondisi kehidupan masyarakat yang telah berubah parang toraja telah bergeser kegunaan utamanya menjadi sebuah perkakas atau alat potong yang dapat digunakan untuk kebutuhan sehari-hari. Alat potong yang serupa dengan parang dapat juga ditemukan di seluruh wilayah Indonesia. Apabila menelusuri sejarah tentang keberadaan parang toraja maka ada jenis tertentu pada parang toraja yang biasanya dikenal dengan nama *La'bo To Dolo* yang artinya pedang leluhur diyakini sebagai senjata pusaka yang menjadi simbol kekuasaan dan spiritual dalam konteks ritual. Namun kini parang atau dalam bahasa Toraja disebut *La'bo* dapat dibedakan menjadi *La'bo To Dolo* dan *La'bo* biasa yang dapat dibedakan melalui pola gelombang atau garis garis lurus yang terdapat pada permukaan pisau yang mereka sebut dengan *pamor/urat'* pedang leluhur diberi nama sesuai dengan pola atau *pamor* pada bilahannya. Namun seiring dengan berjalannya waktu parang ( *La'bo* ) dapat digunakan sebagai peralatan rumah tangga guna untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari dan tak jarang digunakan sebagai oleh-oleh khas asal Toraja. Ditoraja terdapat daerah yang dimana menjadi sentra logam pande besi yang terletak di Desa/Lembang *La'bo* Kecamatan Sanggalangi Toraja Utara. Dapat dikatakan sebagai sentra logam pande besi karena disana sebagian besar penduduknya bekerja sebagai pengrajin parang Toraja. Oleh karena itu sebagian besar penduduknya yang bekerja sebagai pengrajin parang yang dapat langsung menjual hasil kerajinannya dirumahnya. Para pengrajin menjadikan dapur rumahnya untuk mengolah beberapa besi yang terbuat dari pegas daun mobil untuk dijadikan jadi parang dan alat potong lainnya yang dapat digunakan untuk kebutuhan sehari-hari. Pisau yang berukuran kecil (pisau dapur) atau pisau yang berukuran besar (yang dapat digunakan untuk menyembelih hewan), dan pisau yang biasa digunakan untuk memanen padi. Namun disaat musim taman pengrajin parang di *La'bo* juga memanfaatkan sawah yang dimilikinya dan bekerja pula orang petani sebagai pekerjaan sampingannya.





**Gambar 4.** Parang Toraja

Sumber: (Grup & Sama, 2021)

Proses pembuatan parang Toraja dilakukan dengan metode penempaan tradisional. Memanfaatkan peralatan-peralatan yang mudah dijangkau sehingga memungkinkan para pande besi di Toraja untuk memproduksi dengan biaya yang rendah untuk kapasitas industri rumahan. Peralatan-peralatan mudah dijangkau yang dimaksud seperti tungku pemanas dari susunan batu bata, palu 5 kg dan 3 kg, tang penjepit, landasan besi, arang sebagai bahan pembakar, mesin gerinda tangan, batu asah dan air sebagai media pendingin. Adapun langkah-langkah untuk membuat parang Toraja menurut keterangan dari pande besi di Toraja yaitu sebagai berikut:

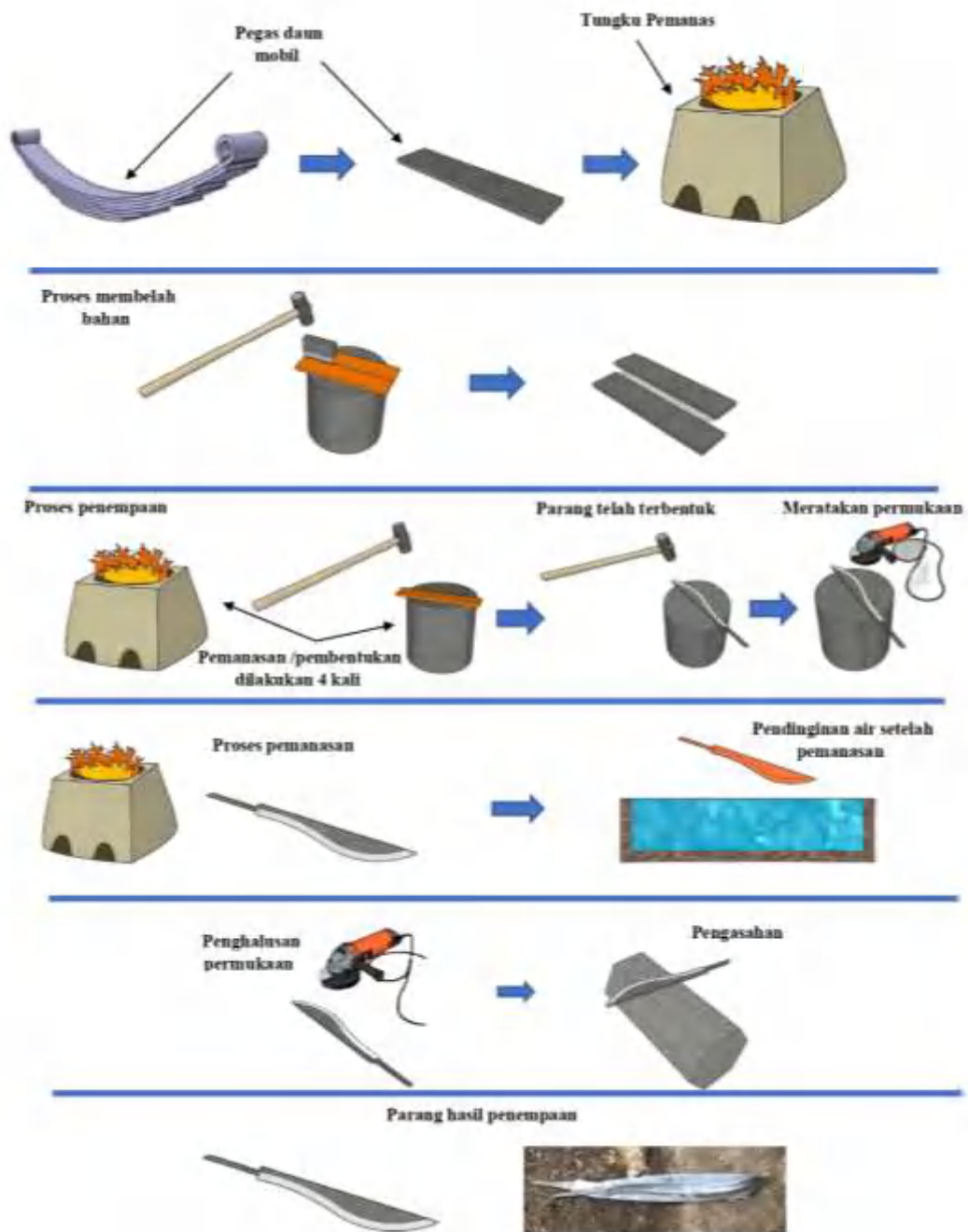
1. Bahan disiapkan dari pegas daun mobil yang sudah tidak terpakai.
2. Menentukan panjang parang yang akan dibuat kemudian dipotong menggunakan gerinda.

Bahan kemudian dipanaskan didalam tungku hingga berwarna merah.



4. Bahan dibelah sesuai lebar parang yang akan dibuat menggunakan palu dan pemotong berupa betel.
5. Setelah didapatkan ukuran panjang dan lebar, bahan dipanaskan kembali ke dalam tungku hingga berubah warna menjadi warna merah.
6. Selanjutnya bahan dipukul (dibentuk) menggunakan palu 5 kg di atas landasan besi. Proses ini dilakukan oleh empat orang, tiga orang memukul dan satu orang lagi menjepit dan mengarahkan besi yang ditempa menggunakan tang jepit. Palu 3 kg digunakan untuk meluruskan dan merapikan bentuk parang dengan pukulan-pukulan ringan apabila parang tidak simetris.
7. Setelah terbentuk parang, selanjutnya dilakukan penggerindaan pada permukaan hingga bekas hunjaman palu hilang.
8. Proses selanjutnya parang dipanaskan hingga mencapai warna agak kemerahan kemudian didinginkan dengan cara dimasukkan ke dalam air. Proses pendinginan dilakukan dengan cepat, sekitar 1 detik di dalam air kemudian diangkat. Proses tersebut dilakukan sebanyak 3 kali, yang pertama parang dimasukkan seluruhnya ke dalam air, kemudian proses kedua dan ketiga hanya pada bagian tajamnya saja.
9. Selanjutnya parang digerinda menggunakan mata gerinda yang lebih halus hingga semua permukaan atau sisi parang menjadi lebih rata.
10. Parang di asah menggunakan batu asah pada bagian tajam.
11. Permukaan dibersihkan dari kotoran-kotoran sisa penempaan menggunakan jeruk nipis.
12. Di olesi campuran minyak tanah dan minyak kelapa untuk menjaga parang dari karat.





**Gambar 5.** Skema ilustrasi pembuatan parang Toraja dengan cara tradisional



## 2.3 Pegas Daun

Pegas merupakan komponen yang didesain memiliki kekakuan yang relatif rendah dibanding dengan *rigid* normal, sehingga memungkinkan untuk menerima gaya yang dibebankan padanya sesuai dengan tingkatan tertentu. Pegas tidak seperti komponen struktur lain dalam hal kekuatan waktu terbebani serta kemampuan menyimpan energi mekanis setiap saat. Dalam suspensi kendaraan, saat roda bertemu dengan halangan pegas membuat roda mampu melewati halangan dengan adanya pergerakan naik-turun pada roda dan kemudian menyebabkan roda kembali ke posisi semula.

Bentuk *beam* adalah dasar dari banyak pegas. *Beam* sendiri adalah rangkaian baja panjang berbentuk persegi yang kedua ujungnya dikaitkan. Defleksi dari beban ( $F$ ) pada ujung *cantilever* dapat diperhitungkan, tergantung dari geometris dari *cantilever* dan modulus elastisitas, seperti yang diprediksi oleh teori dasar *beam*. Jadi pegas daun adalah pegas yang berbentuk plat datar (*flat plats*) dengan lebar tertentu dan dikenai beban lateral yang menjadikan plat mengalami *bending*. Konsep dasar pegas daun adalah batang *cantilever* yang diberi beban lateral pada ujungnya dan ujung yang lain dijepit sehingga batang *cantilever* terdefleksi dan mempunyai *radius curvature*. Batang *cantilever* yang terdefleksi ini kemudian dijadikan bentuk awal tanpa beban dari pegas daun sehingga *radius curvature* dari pegas daun sama dengan *radius curvature* dari batang *cantilever* yang terdefleksi dan bila pegas daun diberi beban yang sama dan arah yang berlawanan dengan batang *cantilever* maka pegas daun akan terdefleksi yang berbentuk horizontal seperti batang *cantilever* tanpa beban. Perbandingan menunjukkan bahwa pegas daun lebih berat dalam massa daripada pegas lain. Menyeimbangkan dari kekurangan pada massa, pegas daun memiliki keuntungan bahwa pegas daun juga digunakan sebagai penyatu jaringan atau kesatuan struktural dalam hal ini menjadi kesatuan dengan rangka (sehingga bisa dibilang selain fungsi sebagai pegas juga berguna untuk menambah kekakuan dari rangka). Alasan utama dari pemakaian pegas daun adalah bahwa pegas jenis ini dapat kontrol gerakan mengayun (*sway*) dan gerakan lateral. Alasan inilah yang menjadikan pegas jenis ini dipakai pada suspensi bagian belakang pada kendaraan



yang menggunakan sistem penggerak roda belakang (*rear wheel drive*) terutama yang digunakan untuk membawa beban berat (manusia ataupun barang) karena itulah pegas daun banyak digunakan pada kendaraan roda empat jenis *station wagen* seperti kijang, kuda, panther, serta kendaraan-kendaraan besar seperti bus atau truk. Ketebalan maksimum yang diijinkan untuk defleksi yang diberikan proporsional terhadap sisi panjang pegas. Dengan pemilihan panjang yang terlalu pendek, desainer memberikan kesulitan tersendiri bagi pembuat pegas untuk membangun sebuah pegas yang memuaskan. Meskipun permintaan untuk beban normal, defleksi dan tegangan terpenuhi. Saat pegas dibuat dengan panjang daun bertahap, sangat diharapkan untuk memilih panjang sehingga pegas tidak akan memiliki daun. Pegas dengan banyak daun biasanya digunakan untuk beban yang berat tetapi akan ekonomis hanya bila pemendekan pegas mengarah ke penentuan penyimpanan dalam struktur pendukung. Tambahan peningkatan rata-rata pegas diijinkan begitu juga dengan pembuatan mata pegas yang lebih besar, dengan asumsi beban dan luas yang digunakan sama. Dalam kebanyakan instalasi pegas juga diarahkan untuk mengangkat beban. Contoh tipikal adalah bahwa pegas suspensi harus mencakup torsi kendaraan dan rem. Tekanan di bawah beban sebaiknya proporsional terhadap panjang pegas dan kekakuan proporsional terhadap panjang pegas. Inilah alasan lain mengapa sangat penting untuk membuat pegas sepanjang mungkin dan mengecek hasil tekanan dan defleksi. Saat pegas daun digunakan sebagai penyatu, akan cenderung menunjuk ke kesatuan terdukung dalam landasan geometris tertentu. Jika tidak ada petunjuk lain yang digunakan geometris yang diinginkan harus didapat dengan penempatan yang benar bagian pendukung pada struktur yang membawa pegas. Proses pembuatan pegas berdasarkan standar sebagai berikut:

#### A. JASO (Japan Automotive Standard Organization)

##### 1. Kelas-kelas dari baja

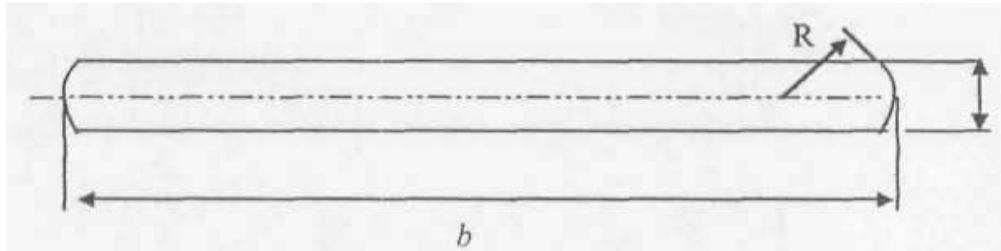
Kelas-kelas dari baja untuk pegas seharusnya SUP6, SUP9, SUP9A atau . khususnya dalam JIS G 4801 (pegas baja).  
si batangan datar untuk pegas  
lat bar (batangan rata) seharusnya dikelompokkan dalam 2 tipe, B (Otsu-



shu di Jepang) dan C (Hei-shu di Jepang) dan toleransi dimensional harus mengikuti yang berikut:

1. Cross Section dari Tipe B (Otshu-shu di Jepang)

Bentuk dari cross sectional akan diperlihatkan di gambar 6 dan dimensi serta toleransi dimensional.



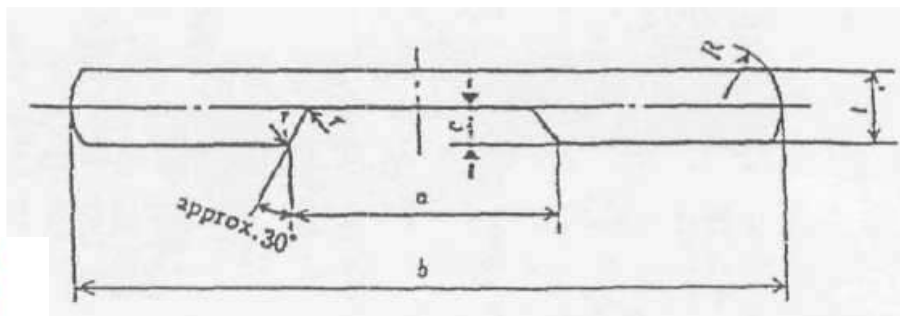
**Gambar 6.** Cross Section tipe B

Catatan:

1. Radius ujung pegas, diberi simbol R
2. Panjang pegas, diberi simbol b
3. Ketebalan harus diukur pada kedua sisi dan perbedaan dalam ketebalan antara 2 sisi harus 25% dari nilai toleransi pada ketebalan (nilai minimum harus 0,1 mm).
4. Kedua permukaan harus benar-benar datar dan tidak cembung.
5. Nilai radius pada kedua ujung tidak dikhususkan.

2. Cross section dari tipe C (Hei-shu di Jepang)

Bentuk dari cross section ini ada di gambar 7 dan dimensi serta toleransinya.



**Gambar 7.** Cross Section tipe C





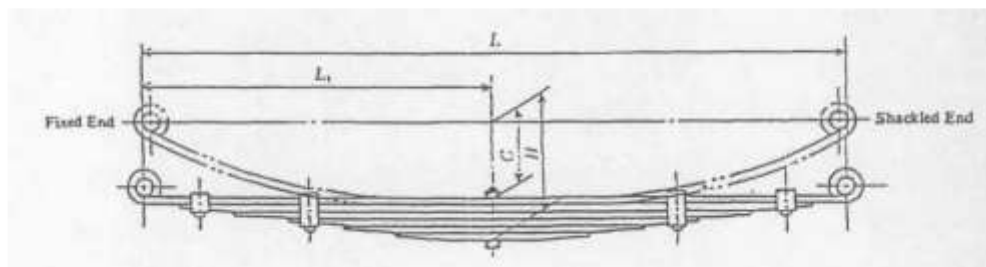
Catatan:

1. Ketebalan pegas diberi simbol  $t$  dalam gambar.
2. Ketebalan harus diukur dari kedua ujungnya dan perbedaan ketebalan di kedua ujungnya 25% dari nilai toleransi.
3. Dimensi groove harus mengikuti aturan, antara lain: Luas groove harus  $1/3$  dari luas  $b$ , dan kedalaman  $c$  dari groove harus  $1/2$  dari ketebalan  $t$ .
4. Nilai radius  $R$  di kedua ujungnya dan radius  $r$  pada ujung groove tidak dikhususkan.
5. Eksentrisitas jalur pusat groove sesuai dengan aturan, harus  $1/100 \times b$  atau kurang.

Bagian utama pegas pada saat pengujian

Definisi

1. Camber, diberi simbol  $C$  dalam gambar
2. Tinggi, diberi simbol  $H$  dalam gambar
3. Span, diberi simbol  $L$  dalam gambar
4. Span pada Fixed End, diberi simbol  $L_1$  dalam gambar 8.



**Gambar 8.** Susunan lengkap pegas daun

B. SAE (Society Of Automotive Engineer)

Baja



Baja yang digunakan harus memenuhi syarat kekerasan untuk memastikan martensitik, transformasi non martensitik menghasilkan pengurangan dari rigide.



Pegas daun pada rangka otomotif telah dibuat dari berbagai campuran baja seperti:

|                   |                    |
|-------------------|--------------------|
| G92600 (SAE 9260) | G86600 (SAE 8660)  |
| G40680 (SAE 4068) | G51600 (SAE 5160)  |
| G41610 (SAE 4161) | G51601 (SAE 51601) |
| G61500 (SAE 6150) | H51600 (SAE 5160H) |
|                   | G50601 (SAE 50B60) |

Di Amerika hampir semua pegas daun dibuat dari baja krom seperti G51600, G51601 atau lainnya. Secara umum, campuran tertinggi diperlukan untuk memastikan kemampuan pengerasan saat sisi daun lebih tebal digunakan. Saat mempertimbangkan tingkat baja yang digunakan, direkomendasikan bahwa kekerasan dilakukan dari kimiawi (contohnya, G51600) atau dari tabel kekerasannya (contohnya H51600) untuk variasi baja H.

“Rule of thumb” berikut berguna korelasi ukuran dan tingkat baja:

| <i>Thickness-mm</i> | <i>Steel</i> |
|---------------------|--------------|
| • 8.0 max           | G51600       |
| • 16.0 max          | H51600       |
| • 37.5 max          | G51601       |

### Penggunaan Mekanis

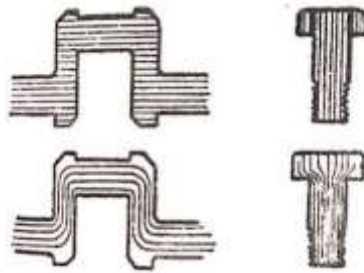
Baja pada kekerasan yang sama dalam kondisi martensitik tempered hampir sama hasil dan kekuatannya. Kelenturan seperti yang diukur oleh perpanjangan dan penurunan area, berlawanan dengan pengerasan. Berdasarkan pengalaman, penggunaan mekanis optimum untuk penerapan pegas didapat dengan range dari kekerasan Brinell nomor 388-461. Daerah ini mengandung 6 standar kekerasan Brinell nomor 388, 401, 415, 429, 444, 461.

### 2.4 Penempaan



Penempaan ialah pemberian bentuk terhadap benda kerja yang yang terbuat dari logam yang mudah diregangkan serta mudah dibentuk dalam keadaan pijar atau pemanasan atau penekanan tanpa menghancurkan strukturnya, penempaan

juga dapat dilakukan dengan cara manual atau dengan menggunakan mesin. Keuntungan penempaan, benda kerja hasil penempaan mempunyai lintasan serat yang lebih menguntungkan daripada benda kerja yang melalui proses pengerjaan penyerpihan dari keadaan pejal (gambar 9 dan gambar 10) (Schönmetz et.al, 1985).



**Gambar 9.** Pengerjaan dengan keadaan pejal



**Gambar 10.** Pengerjaan dengan penempaan

Sumber : Schönmetz, et.al, 1985

#### 2.4.1 Suhu Dan Warna Penempaan

Proses penempaan pada pande besi tradisional pengontrolan suhu dilakukan secara manual berdasarkan warna dari baja dan api yang dihasilkan saat proses penempaan berlangsung. Secara tidak langsung warna api yang timbul menunjukkan temperatur benda kerja tersebut, seperti pada Tabel 2 dibawah ini menunjukkan jenis baja, suhu awal dan suhu akhir dan warna pijar.

**Tabel 2.** Nilai Pedoman Umum Suhu Penempaan

| Jenis Baja               | Suhu Awal °C | Warna Pijar    | Suhu Akhir °C | Warna Pijar  |
|--------------------------|--------------|----------------|---------------|--------------|
| Baja konstruksi          | 1.300        | Putih          | 800           | Merah tua    |
| Perkakas tanpa campuran  | 1.000        | Merah kuning   | 760           | Merah padam  |
| Perkakas campuran rendah | 1.100        | Kuning         | 760           | Merah padam  |
| Cast                     | 1.200        | Kuning menyala | 950           | Kuning padam |

(Schönmetz et.al, 1985)



## 2.4.2 Jenis-Jenis Proses Penempaan

Penempaan memiliki 5 jenis proses antara lain penempaan palu, penempaan timpa, penempaan upset, penempaan tekan, dan penempaan rol.

### 1. Penempaan Palu

Penempaan palu adalah penempaan dengan menggunakan perkakas tangan yang dilakukan oleh pande besi tradisional, penempaan ini adalah penempaan tertua, proses pengerjaan dengan penempaan palu dapat dilakukan pada pengerjaan benda kerja yang rumit.

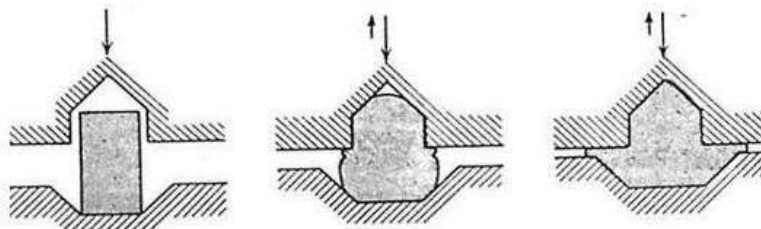


**Gambar 11.** Penempaan palu

Sumber : kratonpedia.com

### 2. Penempaan Timpa

Penempaan timpa adalah jenis penempaan dengan menggunakan cetakan tertutup dengan memaksa benda logam yang panas mengikuti bentuk cetakan dengan mendapatkan tekanan (impak) secara bertubi-tubi.



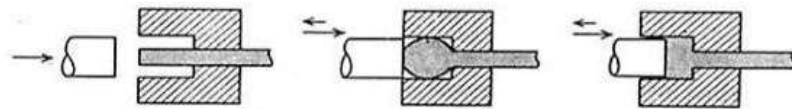
**Gambar 12.** Penempaan timpa

Sumber : mechanicaljm.blogspot.com



Penempaan Upset

Penempaan upset adalah penempaan dengan menggunakan batang berpenampang rata yang dijepit didalam cetakan (die) dan ujungnya dipanaskan sehingga akan mengalami perubahan bentuk. Penempaan ini sering dilakukan pada saat pembuatan selongsong peluru atau silinder mesin radial.

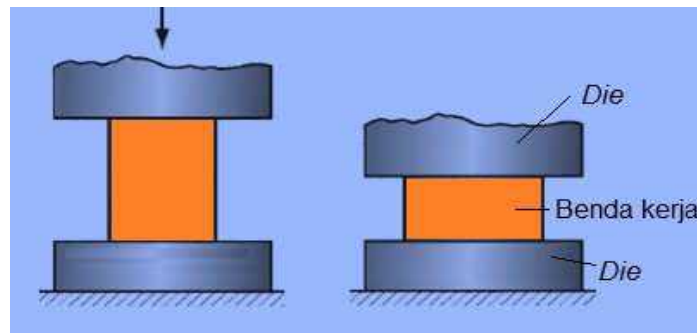


**Gambar 13.** Penempaan upset

Sumber : [mechanicaljm.blogspot.com](http://mechanicaljm.blogspot.com)

#### 4. Penempaan Tekan

Pada penempaan tekan proses deformasi logam melalui penekanan berjalan dengan lambat berbeda dengan penempaan palu yang berlangsung dengan cepat. Penempaan tekan menggunakan mesin tekan vertikal yang digerakkan secara mekanik atau hidrolik.



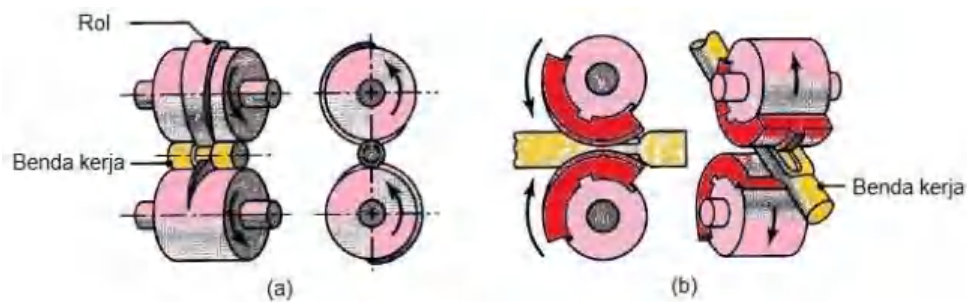
**Gambar 14.** Penempaan tekan

Sumber : [teknikmesinmanufaktur.blogspot.com](http://teknikmesinmanufaktur.blogspot.com)

#### 5. Penempaan Rol

Penempaan rol yaitu proses pembentukan benda kerja baik silinderis atau persegi dengan mengurangi dimensi penampang. Pengurangan ini dilakukan dengan cara melewati benda kerja melalui satu set pasangan rol atau rol yang berlawanan, biasanya rol sudah memiliki jalur yang sesuai dengan bentuk benda akhir





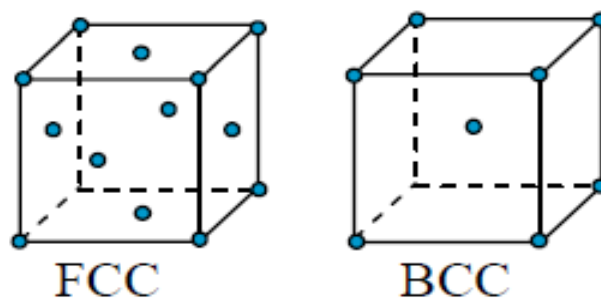
**Gambar 15.** Penempatan Rol

Sumber : [teknikmesinmanufaktur.blogspot.com](http://teknikmesinmanufaktur.blogspot.com)

## 2.5 Klasifikasi Material

### 2.5.1 Baja

Baja merupakan logam paduan. Di dalam baja, besi merupakan unsur dasar yang dicampur dengan unsur-unsur lainnya termasuk unsur karbon. Kandungan unsur karbon dalam baja antara 0,002 % – 2,14 %. Besi memiliki dua unsur kristal yang dipengaruhi oleh temperatur penempatannya, unsur kristal tersebut adalah Body Center Cubic (BCC) dan Face Center Cubic (FCC). Dalam susunan bentuk kristalnya Body Center Cubic (BCC) atom besi berada di tengah-tengah kubus atom, sedangkan bentuk kristal pada Face Center Cubic (FCC) atom besi berada pada enam sisi kubus. Seperti pada gambar 16 di bawah ini.



**Gambar 16.** Kristal FCC dan Kristal BCC

Sumber : (*Struktur Kristal Struktur Kristal*, n.d.)

Baja merupakan jenis logam ferro dengan unsur – unsur seperti Carbon (C), Fosfor (P), Silikon (Si), Mangan (Mn), dan sebagainya. Sifat baja di



pengaruhi oleh persentase karbon dan struktur mikro. Sedangkan struktur mikro pada baja karbon dipengaruhi oleh komposisi baja dan perlakuan panas (heat treatment). Perbedaan presentase jumlah karbon di dalam campuran baja karbon menjadi salah satu cara untuk megklasifikasikan baja (Edih Supardi, 1999). Baja dibagi menjadi tiga macam berdasarkan kandungan karbon nya antara lain :

1. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah (low carbon steel) mengandung kurang dari 0,3 % karbon, dengan kandungan karbon kurang dari 0,3 % maka baja ini bukan baja yang keras dan baja ini tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak dapat membentuk struktur martensit (Amanto, 1999).

2. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang (medium carbon steel) mengandung 0,3 % sampai 0,6% karbon, dengan kandungan karbon 0,3 % - 0,6 % baja ini memungkinkan untuk dikeraskan sebagian dengan proses heat treatment yang sesuai. Baja ini lebih keras dan lebih kuat di bandingkan baja karbon rendah (Amanto, 1999).

3. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi (high carbon steel) mengandung karbon (C) 0,6 % - 1,5 %, baja karbon tinggi memiliki kekerasan yang sangat tinggi tetapi tingkat keuletannya rendah. Kebalikan dari baja karbon rendah (low carbon steel), proses pengerasan baja karbon tinggi dengan proses heat treatment tidak menghasilkan hasil yang maksimal karena terlalu banyak martensit sehingga membuat baja ini menjadi getas. Sifat mekanis baja dipengaruhi oleh cara pengadaaan ikatan karbon (C) dengan besi (Fe). Menurut (schönmetz, 1985) terdapat dua bentuk utama kristal saat karbon mengadakan ikatan dengan besi, yaitu :

- *Ferrit* yaitu besi murni terletak rapat saling berdekatan dan tidak teratur, baik besar ataupun bentuknya.
- *Perlit* merupakan campuran dari ferrit dan sementit dengan kandungan karbon 0, 8 %. Struktur perlit mempunyai kristal ferrit



tersendiri dari serpihan sementit halus yang saling berdekatan dalam lapisan tipis.

### 2.5.2 Stainless Steel

Stainless steel merupakan baja tahan karat dan tahan terhadap oksidasi, stainless steel merupakan logam paduan dari beberapa unsur – unsur logam dengan paduan komposit tertentu (Samlawi & Siswanto, 2016). Stainless steel mengandung setidaknya 10,5 % kromium untuk mencegah terjadinya korosi. Kemampuan stainless steel menahan korosi dipengaruhi oleh lapisan film oksida kromium yang menghalangi proses oksidasi (ferum). Stainless steel memiliki enam karakteristik antara lain :

1. Persentase Krom Tinggi

Stainless steel memiliki jumlah presentase kromium 10, 5 %. Hal ini yang menyebabkan stainless steel tahan terhadap karat, karena kromium sendiri merupakan perlindungan utama dari pengaruh lingkungan.

2. Tahan Karat

Sifat tahan karat stainless steel di peroleh dari jumlah kromium yang sangat tinggi. Stainless steel memiliki lapisan oksida yang stabil pada permukaannya dan tahan terhadap pengaruh oksigen. Lapisan pada stainless steel bersifat penyembuhan diri (self healing).

3. Tahan lama

Karakter stainless steel yang tahan karat membuat stainless steel lebih awet dan tahan lama serta tidak mudah rusak oleh proses oksidasi.

4. Kekerasan dan Kekuatan Tinggi

Dibandingkan dengan baja ringan, stainless steel memiliki kekuatan tarik tinggi. Stainless steel duplex memiliki kekuatan tarik lebih tinggi dibandingkan dengan stainless steel austenitik.

5. Resistensi Terhadap Suhu Rendah

Resistensi terhadap suhu rendah di ukur dengan ketangguhan dan keuletan. Pada suhu rendah kekuatan tarik stainless steel austenit lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan suhu kamar.





## 6. Tampilan Menarik

Stainless steel mempunyai warna perak yang mengkilap, alasan inilah yang menjadikan stainless steel sering digunakan di berbagai bidang kehidupan manusia seperti ; alat makan, alat bedah (alat operasi), perlengkapan rumah tangga, knalpot kendaraan bermotor, hingga tanki kimia.

## 2.6 Heat Treatment

Heat treatment merupakan proses perubahan sifat logam, dengan merubah struktur mikro dengan proses pemanasan dan laju pendinginan. Heat treatment merupakan cara penguatan logam dimana logam yang akan diubah sudah dalam keadaan solid. Pembentukan sifat-sifat dalam baja tergantung pada kandungan karbon, temperature pemanasan, sistem pendinginan serta bentuk dan ketebalan bahan (Budianto, 2012). Dalam Heat treatment specimen dipanaskan hingga mencapai temperatur austenit (Djafri, 1995).

### 2.6.1 Annealing

Proses annealing yaitu proses pemanasan baja diatas temperatur kritis ( $723^{\circ}\text{C}$ ) dan dibiarkan sampai temperatur merata disusul dengan pendinginan secara perlahan sambil dijaga agar temperatur bagian luar dan dalam kira kira sama hingga dapat diperoleh struktur yang di inginkan dengan menggunakan media pendinginan udara, tujuan dari diadakan nya proses annealing sendiri adalah melunakkan material logam, menghilangkan tegangan sisa dan memperbaiki butiran logam ( Amanto, 1999 ).

### 2.6.2 Normalizing

Normalizing adalah proses pemanasan logam hingga mencapai fase austenit yang kemudian di dinginkan secara perlahan dalam media pendinginan udara. Hasil pendinginan ini berupa b b dan ferrit tetapi hasil nya lebih halus dibandingkan dengan annealing, proses normalizing berfungsi untuk elunakkan logam namun pada baja karbon paduan atau baja karbon tinggi (high carbon steel) proses ini belom tentu mendapatkan baja yang lunak, hal i tergantung dari proses pengerasan dan kadar karbon, (Amanto, 1999).





### 2.6.3 Tempering

Baja biasanya dipanaskan kembali pada suhu kritis terendah setelah dilakukan pengerasan untuk memperbaiki kekuatan dan kekenyalannya. Akan tetapi hal itu mengurangi daya regang dan kekerasannya, sehingga membuat baja lebih sesuai untuk kebutuhan pembuatan peralatan. Proses pemanasan kembali disebut penyepeuhan. Proses tersebut menyebabkan martensit berubah menjadi troosit atau sorbit sesuai dengan suhu penyepeuhannya. Troosit dan sorbit tersebar halus dalam bentuk karbit pada lapisan ferrit. Bentuk strukturnya tidak seperti austenit tetapi berlapis – lapis (Amanto, 1999 : 80).

Menurut Schönmetz, 1985 tujuan proses tempering ada tiga macam yaitu :

1. Tempering pada suhu rendah (  $150^{\circ}\text{C} - 300^{\circ}\text{C}$  )

Tempering ini berguna untuk mengurangi tegangan kerut dan kerapuhan baja, biasanya untuk alat potong, mata bor, dll. Pada suhu ini laju difusi lambat, hanya sebagian kecil karbon yang dibebaskan, dan sebagian struktur tetap keras tetapi mulai kehilangan kerapuhan nya.

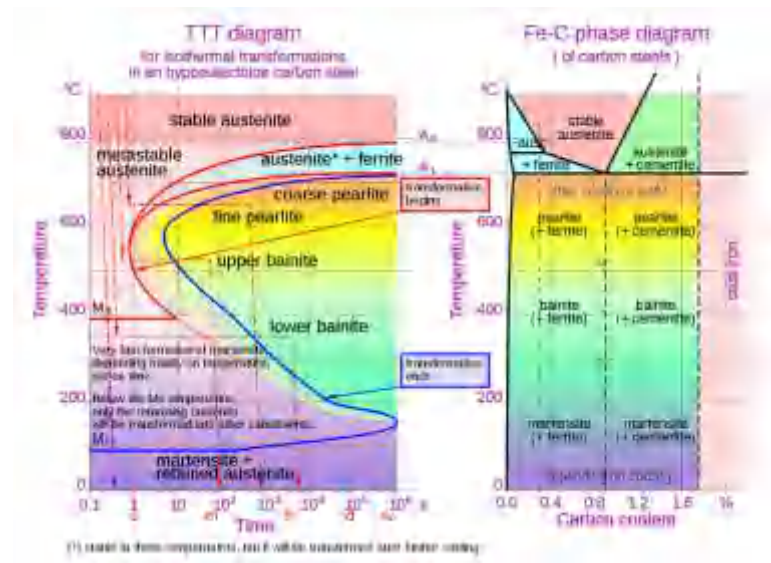
2. Tempering pada suhu menengah (  $300^{\circ}\text{C} - 550^{\circ}\text{C}$  )

Tempering pada suhu sedang ini bertujuan untuk menambah keuletan dan kekerasan nya sedikit berkurang. Proses ini di gunakan pada alat kerja yang mengalami beban berat, semisal palu, pahat dan pegas.

3. Tempering pada suhu tinggi (  $550^{\circ}\text{C} - 650^{\circ}\text{C}$  )

Tempering pada suhu tinggi bertujuan memberikan daya ke uletan yang besar dan kekerasan menjadi agak rendah. Contohnya pada roda gigi, poros batang penggerak, dll.





**Gambar 17.** Diagram Isothermal Transformation

Sumber : (Rahmadani et al., 2020)

## 2.7 Quenching

Ada beberapa faktor yang melibatkan Proses *quenching* dan saling berhubungan. Pertama adalah jenis media pendingin dan kondisi proses yang digunakan, yang kedua yaitu komposisi kimia dan *hardenability* dari logam. *Hardenability* yaitu fungsi dari komposisi kimia dan ukuran butir pada temperatur tertentu. Proses *quenching* adalah perpindahan panas ( *heat transfer*) dengan laju yang sangat cepat (Sugiarto et al., 2013)

Pada saat proses perlakuan *quenching* terjadi percepatan pendinginan dari temperatur akhir perlakuan dan mengalami perubahan dari austenite menjadi bainite dan martensite agar menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi. Pengerasan maksimum yang dilakukan pada baja yang di-*quench* hampir sepenuhnya ditentukan oleh konsentrasi karbon dan kecepatan pendinginan yang sama ataupun lebih tinggi dengan kecepatan pendinginan kritis untuk paduan tersebut. Media *quenching* terdiri atas: air, air garam, oli, air-polymer, ataupun yang



Untuk baja karbon tinggi dan baja paduan pada umumnya digunakan sebagai media pencelupan, dimana pendinginannya tidak secepat air. tersedia berbagai jenis, seperti minyak mineral dimana kecepatan

pendinginannya berlainan sehingga dapat menghasilkan baja dengan berbagai tingkat kekerasan.

Untuk pendinginan yang cepat biasanya digunakan air garam ataupun air yang disemprotkan. Beberapa jenis logam juga dapat dikeraskan melalui pendinginan udara namun prosesnya terlalu lambat. Benda yang agak besar biasanya akan dicelupkan dalam minyak. Suhu media celup yang baik itu harus merata agar dapat dicapai pendinginan yang merata pula.

## 2.8 Media Pendingin

Media pendingin merupakan suatu media yang digunakan untuk mendinginkan spesimen uji setelah mengalami proses perlakuan panas. Untuk mendinginkan bahan dikenal berbagai macam bahan untuk memperoleh pendinginan yang merata maka bahan pendingin tersebut hampir seluruhnya disirkulasi (R Adawiyah, Murdjani, 2014)

Untuk melakukan proses *Hardening* kita harus melakukan pendinginan secara cepat dengan menggunakan media pendingin, supaya mendapatkan struktur *martensite*. Oleh karena itu, semakin banyak unsur karbon, maka struktur *martensite* yang terbentuk juga akan semakin baik dan banyak. *Martensite* terbentuk akibat dari fase *Austenite* yang didinginkan secara cepat. Hal ini disebabkan oleh atom karbon yang tidak sempat berdifusi keluar dan terjebak dalam struktur kristal serta membentuk struktur tetragonal yang ruang kosong antar atomnya kecil, yang menyebabkan kekerasannya meningkat. Ada beberapa media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan spesimen uji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

### 1. Air

Air adalah media yang sangat sering digunakan untuk proses *quenching*, sebab biayanya yang murah, dan mudah digunakan serta proses pendinginan yang cepat.



### Minyak atau Oli

Jika dibandingkan dengan air, oli adalah pendingin yang lebih lunak.

biasanya digunakan untuk material yang kritis, seperti material yang mempunyai bagian tipis atau ujung yang tajam.

### 3. Larutan Garam

Air garam merupakan media yang sering digunakan pada proses *quenching* yang sering digunakan untuk alat-alat yang terbuat dari baja. Beberapa keuntungan menggunakan air garam sebagai media dapat kita lihat sebagai berikut :

- a. Suhu yang merata pada air garam
- b. Proses pendinginan merata untuk semua bagian logam
- c. Aman dari bahaya oksidasi, karburasi, atau dekarburisasi selama proses berlangsung.

### 4. Udara

Pendinginan udara merupakan perlakuan panas yang proses pendinginannya lambat. Udara sebagai pendingin akan memberikan proses pembentukan kristal-kristal kepada logam yang akan mengikat unsur unsur lain dari udara.

## 2.9 Struktur Mikro

Unsur besi (Fe) dan unsur karbon C (non besi) adalah 2 bahan utama pada pembuatan baja. Sistem perpaduan dan susunannya serta perlakuannya dapat menghasilkan berbagai jenis struktur mikro dengan sifat mekanik yang berbeda. Karena sifat mekanik bahan baja sangat ditentukan oleh struktur mikro penyusun baja tersebut, maka memahami proses terbentuknya struktur mikro dan sifat sifatnya adalah sangat penting dalam melakukan proses perlakuan panas. Karena melalui proses perlakuan panas tersebut, sifat-sifat bahan baja dapat dirubah.

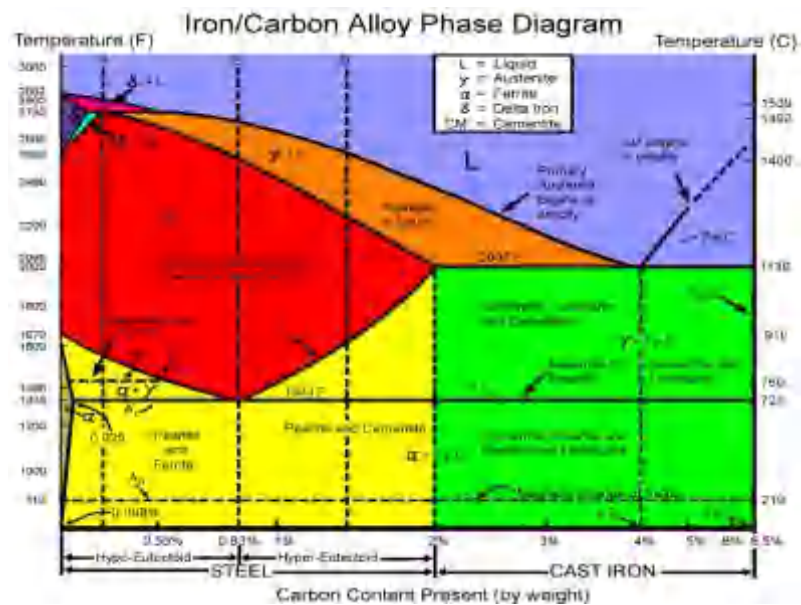
Struktur mikro adalah gambaran dari kumpulan fasa yang dapat diamati melalui teknik metalografi. Struktur mikro suatu logam dilihat dengan akan mikroskop. Ada dua jenis mikroskop yang dapat digunakan antara mikroskop optik dan mikroskop elektron. Sebelum melakukan pengamatan akan mikroskop, permukaan logam atau spesimen harus dibersihkan



terlebih dahulu, kemudian direaksikan dengan reagen kimia untuk memudahkan pengamatan. Proses ini dinamakan etching (Djafri, Sriati, 1983). Untuk mengetahui sifat logam, dapat dilihat dari struktur mikronya. Setiap logam memiliki jenis struktur mikro yang berbeda. Dengan diagram fasa struktur mikro dapat dilihat dan dapat mengetahui fasa yang akan diperoleh pada temperatur dan komposisi tertentu (Amanto Hari, 1999). Dari struktur mikro kita dapat melihat :

1. Ukuran butir dan bentuk butir
2. Distribusi fasa yang terdapat dalam material
3. Pengotor yang ada didalam material

Diagram kesetimbangan fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C adalah alat penting untuk memahami struktur mikro dan sifat-sifat baja karbon.



**Gambar 18.** Diagram Fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C

Karbon larut di dalam besi dalam bentuk larutan padat (*solution*) hingga 0,05% berat pada temperatur ruang. Baja dengan atom karbon terlarut hingga jumlah tersebut memiliki *alpha ferrite* pada temperatur ruang. Pada kadar karbon di atas 0,05% akan terbentuk endapan karbon dalam bentuk *hard intermetallic compound* (Fe<sub>3</sub>C) yang dikenal sebagai *cementite* atau *carbide*. Struktur mikro dari larutan padat *alpha-ferrite* yang dalam kesetimbangan dapat ditemukan pada



temperatur ruang terdapat fase-fase penting lainnya, yaitu *delta-ferrite* dan *gamma-austenite*. Logam Fe bersifat *polymorphism* yaitu memiliki struktur kristal berbeda pada temperatur berbeda. Pada Fe murni, misalnya, *alpha-ferrite* akan berubah menjadi *gamma-austenite* saat dipanaskan melewati *temperature* 910°C. Pada temperatur yang lebih tinggi, mendekati 1400°C *gamma-austenite* akan kembali berubah menjadi *delta-ferrite*. (Alpha dan Delta) *ferrite* dalam hal ini memiliki struktur kristal BCC sedangkan (Gamma) *austenite* memiliki struktur kristal FCC.

### 1. Ferrite

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

### 2. Pearlite

*Pearlite* adalah suatu campuran *lamellar* dari *ferrite* dan *cementite*.

Konstituen ini terbentuk dari dekomposisi *austenite* melalui reaksi *eutectoid* pada setimbang, di mana lapisan *ferrite* dan *cementite* terbentuk secara n untuk menjaga keadaan kesetimbangan komposisi *eutectoid*. *Pearlite*



memiliki struktur yang lebih keras daripada *ferrite*, yang terutama disebabkan oleh adanya fase *cementite* atau *carbide* dalam bentuk lamel-lamel.

### 3. *Austenite*

Fase *austenite* memiliki struktur atom FCC (*Face Centered Cubic*). Dalam keadaan setimbang fase *austenite* ditemukan pada temperatur tinggi. Fase ini bersifat non magnetik dan ulet (*ductile*) pada temperatur tinggi. Kelarutan atom karbon di dalam larutan padat *austenite* lebih besar jika dibandingkan dengan kelarutan atom karbon pada fase *ferrite*. Secara geometri, dapat dihitung perbandingan besarnya ruang intertisi di dalam fase *austenite* (atau kristal FCC) dan fase *ferrite* (atau kristal BCC). Perbedaan ini dapat digunakan untuk menjelaskan fenomena transformasi fase pada saat pendinginan *austenite* yang berlangsung secara cepat. Selain pada temperatur tinggi, *austenite* pada sistem *Ferrous* dapat pula direkayasa agar stabil pada temperatur ruang. Elemen-elemen seperti Mangan dan Nickel misalnya dapat menurunkan laju transformasi dari *gamma-austenite* menjadi *alpha-ferrite*. Dalam jumlah tertentu elemen-elemen tersebut akan menyebabkan *austenite* stabil pada temperatur ruang.

### 4. *Cementite*

*Cementite* atau *carbide* dalam sistem paduan berbasis besi adalah *stoichiometric inter-metallic compound*  $\text{Fe}_3\text{C}$  yang keras (*hard*) dan getas (*brittle*). Nama *cementite* berasal dari kata *caementum* yang berarti *stone chip* atau lempengan batu. *Cementite* sebenarnya dapat terurai menjadi bentuk yang lebih stabil yaitu Fe dan C sehingga sering disebut sebagai fase metastabil. Namun, untuk keperluan praktis, fase ini dapat dianggap sebagai fase stabil. *Cementite* sangat penting perannya di dalam membentuk sifat-sifat mekanik akhir baja. *Cementite* dapat berada di dalam sistem besi baja dalam berbagai bentuk seperti: bentuk bola (*sphere*), bentuk lembaran (berselang seling dengan *alpha-ferrite*), atau partikel-partikel *carbide* kecil. Bentuk, ukuran, dan distribusi karbon dapat direkayasa

iklus pemanasan dan pendinginan. Jarak rata-rata antar karbida, dikenal intasan *ferrite* rata-rata (*Ferrite Mean Path*), adalah parameter penting





yang dapat menjelaskan variasi sifat-sifat besi baja. Variasi sifat luluh baja diketahui berbanding lurus dengan logaritmik lintasan *ferrite* rata-rata.

### 5. *Martensite*

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

## 2.10 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan adalah salah satu dari sekian banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi. (Surdia dan shinroku, 2013). Pengujian kekerasan logam ini secara garis besar ada tiga metode antara lain penekanan, dinamik dan goresan. ( Koswara, 1991 ). Pengujian yang banyak dipakai adalah pengujian dengan metode penekanan dengan menggunakan beban tertentu dan dengan mengukur bekas penekan yang ada diatasnya. ( Surdia dan Shinroku, 2013). Menurut Schönmetz, 1985 ada tiga metode proses penekanan, yaitu : Rockwell, Brinell dan Vickers. Pengujian penelitian ini menggunakan pengujian Rockwell. Menurut Husni, (2009) pengujian kekerasan rockwell yaitu mengidentifikasi material dengan kerucut intan atau bola baja. Indentor di tekan ke material di bawah beban





terkecil. Pengujian rockwell menggunakan bola baja berdiameter 10mm, 5mm, 2,5mm dan 1 mm. Pengujian ini menggunakan dua beban yaitu minor load ( $F_0$ ) = 10 Kgf dan beban mayor load ( $F_1$ ) = 60 Kgf – 150 Kgf.

#### 2.10.1. Pengujian Rockwell

Metode rockwell merupakan metode pengukuran kekerasan suatu bahan yang paling banyak dilakukan. Karena pengujian yang sangat sederhana dan tidak membutuhkan keahlian khusus. Dalam pengujian rockwell ada dua macam indenter yang biasa digunakan dalam pengujian ini yakni krucut berbahan intan dan bola baja. Selain itu indenter berlian digunakan untuk material yang lebih keras. (Nasmi, 2018).



**Gambar 19.** Mesin uji kekerasan rockwell

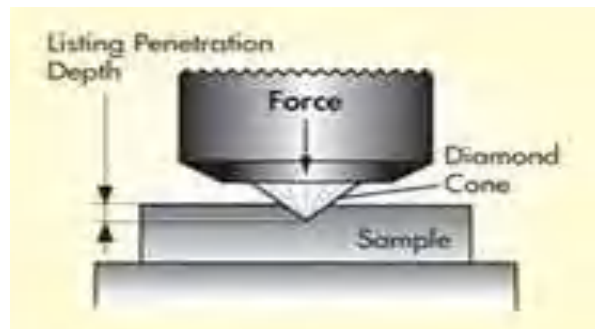
Sumber : [teknikmesinmanufaktur.blogspot.com](http://teknikmesinmanufaktur.blogspot.com)

Skala yang umum digunakan dalam pengujian Rockwell adalah :

1. HRA (untuk material yang sangat keras)
2. HRB (untuk materil yang lunak). Indenter berupa bola baja dengan diameter 1/16 inch dan beban uji 100 Kg
3. HRC (untuk material dengan kekerasan sedang). Indenter berupa kerucut intan dengan sudut puncak 120 derajat dan beban uji sbesar 150 Kg.



Kekerasan *rockwell* bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material, untuk daya tahan material (spesimen) dari bola baja ataupun kerucut intan kankan pada permukaan material uji tersebut. (Nasmi, 2018).



**Gambar 20.** Media pengujian uji rockwell

Sumber : adiputrasimanjuntak.blogspot.com

Menurut Nasmi, 2018. Cara pengujian kekerasan dengan metode Rockwell dilakukan dengan dua kali pembebanan yaitu yang pertama dengan beban minor dimaksudkan agar meningkatkan akurasi pengukuran dan yang kedua dengan beban mayor. Metode pengujian rockwell terdiri atas dua yaitu :

1. Pengujian Rockwell

Pengujian rockwell dilakukan dengan memberikan beban minor sebesar 10 kg. Pada spesimen. Selanjutnya memberikan beban mayor dengan variasi pembebanan sebesar 60, 100, dan 150 kg. Kemudian diikuti dengan alfabet. Skala kekerasan rockwell superfical ditunjukkan pada tabel 3.

**Tabel 3.** Skala kekerasan rockwell

| Simbol | Indenter       | Beban Mayor (Kg) |
|--------|----------------|------------------|
| A      | Intan          | 60               |
| B      | Bola 1/16 Inci | 100              |
| C      | Intan          | 150              |
| D      | Intan          | 100              |
| E      | Bola 1/8 inci  | 100              |
| F      | Bola 1/16 inci | 60               |
| G      | Bola 1/16 inci | 150              |
| H      | Bola 1/8 inci  | 60               |
| K      | Bola 1/8 inci  | 150              |

Sumber : Surdia dan Saito, (1984)



Menurut Purnomo, (2017). Untuk cara pemakaian skala ini, terlebih dahulu menentukan dan memilih ketentuan angka dan kekerasan maksimum yang boleh digunakan oleh skala tertentu. Jika pada skala tertentu tidak tercapai angka kekerasan yang jelas, berdasarkan rumus tertentu, skala ini memiliki standar atau acuan, dimana acuan dalam menentukan dan memilih skala kekerasan dapat diketahui melalui Tabel 4 berikut ini.

**Tabel 4.** Skala kekerasan

| Skala | Pemakaiannya                                                                                                                                          |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A     | Untuk carbide cementite, baja tipis, dan baja dengan lapisan yang tipis.                                                                              |
| B     | Untuk paduan tembaga, baja lunak, paduan aluminium dan besi tempa.                                                                                    |
| C     | Untuk baja, besi tuang keras, besi tempa peritik, titanium, baja dengan lapisan keras yang dalam, dan bahan – bahan yang lebih dari pada skala B-100. |
| D     | Untuk baja tipis, baja dengan lapisan keras yang sedang, dan besi tempa peritik.                                                                      |
| E     | Untuk besi tuang, paduan aluminium, magnesium, dan logam bantalan.                                                                                    |
| F     | Untuk paduan tembaga yang dilunakkan dan pelat lunak yang tipis.                                                                                      |
| G     | Untuk besi tempa, paduan tembaga, nikel-seng, dan tembaga-nikel.                                                                                      |
| H     | Untuk aluminium, seng dan timbal.                                                                                                                     |
| K     | Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan – bahan tipis.                                                                 |
| L     | Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan – bahan tipis.                                                                 |
| M     | Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan – bahan tipis.                                                                 |
| P     | Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan – bahan tipis.                                                                 |
| R     | Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan – bahan tipis.                                                                 |
| S     | Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan – bahan tipis.                                                                 |
|       | Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan – bahan tipis.                                                                 |



### Superficial Rockwell

Superficial Rockwell menggunakan beban minor sebesar 3 kg dengan variasi pembebanan mayor sebesar 15, 30 dan 45 Kg. Diikuti dengan alpabet N, T, W, dan Y. Hasil dari pembebanan ditampilkan dengan menggunakan skala HR diikuti dengan identifikasi skala. Skala kekerasan rockwell superfical di tunjukkan dalam Tabel 5.

**Tabel 5.** Skala kekerasan rockwell superfical

| Simbol | Indentor       | Beban mayor (Kg) |
|--------|----------------|------------------|
| 15 T   | Intan          | 15               |
| 30 N   | Intan          | 30               |
| 45N    | Intan          | 45               |
| 15 T   | Bola 1/16 inci | 15               |
| 30 T   | Bola 1/16 inci | 30               |
| 45 T   | Bola 1/16 inci | 45               |
| 15 W   | Bola 1/8 inci  | 15               |
| 30 W   | Bola 1/8 inci  | 30               |
| 45 W   | Bola 1/8 inci  | 45               |

Sumber : (Surdia & Saito, 1985)

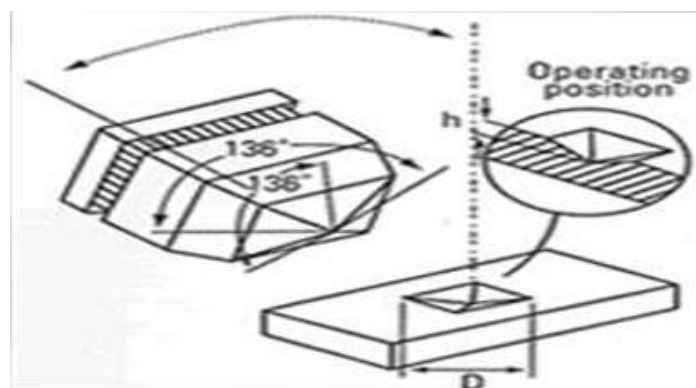
### 2.10.2. Pengujian Vickers

Pada umumnya kekerasan diartikan sebagai ketahanan terhadap deformasi, sedangkan nilai kekerasan pada logam adalah ukuran ketahanan logam terhadap deformasi permanen atau plastis. Ada tiga tipe umum pengukuran kekerasan tergantung bagaimana pengujian tersebut dilakukan, yaitu scratch Hardness adalah pengukuran yang didasarkan pada kemampuan logam terhadap goresan. Pengukuran ini didasarkan skala mohs.



*Indentation Hardness* adalah pengukuran didasarkan pada kedalaman atau goresan yang dibuat oleh suatu indentor pada permukaan logam dengan beban

tertentu. Pada saat teknik pengukuran dengan indantasi merupakan teknik pengukuran yang banyak dilakukan karena mudah untuk dilakukan dan tidak merusak spesimen secara berlebihan. Adapun beberapa teknik pengukuran kekerasan dengan indentasi yang banyak dilakukan adalah pengujian kekerasan Rockwell sesuai dengan yang ditetapkan oleh ASTM Standar E-18, pengujian kekerasan Brinell sesuai dengan ASTM Standar E-10, dan Pengujian kekerasan Vickers sesuai dengan ASTM Standar E-29.



**Gambar 21.** Uji Vickers

Uji vickers dikembangkan di inggris tahun 1925an. Dikenal juga sebagai *Diamond Pyramid Hardness test* (DPH).uji kekerasan vickers menggunakan indenter piramida intan, besar sudut antar permukaan piramida intan yang saling berhadapan adalah 136 derajat .

Ada dua rentang kekuatan yang berbeda, yaitu micro (10g – 1000g) dan macro (1kg – 100kg).

#### 1. Standar

ASTM E 384 – Rentang micro (10g – 1000g)

ASTM E 92 – Rentang macro (1kg – 100kg)

ISO 6507 – Rentang micro dan macro

#### 2. Cara/metode pengujian Vickers

##### a. Persiapkan alat dan bahan pengujian

##### 1. Mesin uji kekerasan Vickers (*Vickers Hardness Test*)



2. Indentor piramida intan (diamond pyramid)
  3. Benda uji yang sudah di gerinda
  4. Amplas halus
  5. *Stopwatch*
  6. Mikroskop pengukur (biasanya satu set dengan alatnya)
- b. Indentor di tekankan ke benda uji/material dengan gaya tertentu. (rentang micro 10g – 1000g dan rentang micro 1kg – 100kg)
  - c. Tunggu hingga 10 – 20 detik (biasanya 15 detik)
  - d. Bebaskan gaya dan lepaskan indentor dari benda uji
  - e. Ukur dua diagonal lekukan persegi (belah ketupat) yang terjadi menggunakan mikroskop pengukur. (ukur dengan teliti dan cari rata-ratanya)
  - f. Masukkan data-data tersebut ke rumus
3. Rumus penghitungan pengujian metode vickers :

$$VHN = \frac{1,854 \times P}{d^2}$$

Dimana :

VHN = Vickers Hardness Number

P = Beban yang diberikan (kgf)

d = Panjang diagonal rata-rata hasil indentasi

## 2.11 Uji Komposisi Kimia



Uji komposisi kimia untuk positif material identifikasi membutuhkan yang cukup teliti, terutama pada proses incoming Quality Assurance pada rimaan material di indsutri manufaktur baik sebagai bahan baku produksi sebagai komponen konstruksi di process production. Pasaunya, dalam

melakukan uji komposisi kimia, ada beberapa hal yang perlu dilakukan. Hal ini mencakup jenis analisis yang akan dilakukan hingga penggunaan alat yang akan dipakai dalam proses analisis. Untuk analisisnya, biasanya qualitative dan quantitative chemical analysis digunakan dalam uji komposisi kimia untuk positif material identifikasi di industri.

#### 2.11.1 Ragam Jenis Quantitative Chemical Analysis

Berikut ini adalah beberapa ragam jenis *quantitative chemical analysis* yang biasa digunakan dalam uji komposisi kimia untuk positif material identifikasi pada industri:

##### 1. *Wet Chemistry*

*Wet chemistry* merupakan salah satu jenis *quantitative chemical analysis* dalam uji komposisi kimia yang termasuk dalam teknik gravimetri dan titrimetri. Saat ini, *wet chemistry* kurang umum digunakan dalam analisis logam dan bahan anorganik, penggunaan *wet chemistry* hanya berfokus pada metode analisis instrumen saja.

##### 2. *Spark-OES*

*Spark optical emission spectroscopy (Spark-OES)* adalah sebuah teknik yang digunakan dalam analisis langsung sampel logam padat terutama material logam. Dalam uji komposisi kimia menggunakan *quantitative chemical analysis* jenis ini, spesimen digrinding agar mendapatkan area yang rata dan bersih dengan ukuran sekitar 1 hingga 2 cm saja. Kemudian, sampel yang disiapkan diletakkan pada spark stand pada instrumen Spark-OES. Jenis Material Logam yang biasa diuji menggunakan sistem ini adalah logam *Ferrous* base seperti Pig Iron, *Low Allow Steel*, *Stainless Steel*, *Tools Steel* dan lain2. OES juga bisa melakukan pengujian pada logam non *Ferrous* base seperti *Alumunium*, *Nickel Alloy*, *Copper Alloy*, *Zinc Alloy*, *Titanium Alloy*, *Magnesium Alloy*, logam Timah Putih, logam Timah Hitam dan *Cobalt Alloy*.



-ray fluorescence spectroscopy (XRF) adalah sebuah teknik yang biasa n untuk menganalisis secara langsung sampel logam pada, scrap logam, ulia hingga banyak bahan-bahan lainnya. XRF merupakan teknik yang



cepat dan tidak bisa merusak permukaan sampel. XRF mesin ada dari jenis yang handheld dan ada yang dipakai di dalam *laboratory*. Dikarenakan ada jenis yang *portable* dan *handheld*, maka dari itu, salah satu jenis *quantitative chemical analysis* dalam uji kompetensi kimia ini sering diimplementasikan di lapangan dan digunakan untuk mengontrol kualitas industri.

#### 4. ICP-OES

*Inductively coupled plasma optical emission spectroscopy* (ICP-OES) merupakan teknik yang digunakan untuk menganalisis konsentrasi elemen logam pada sampel padat dan cair. ICP-OES juga menggunakan prinsip-prinsip emisi optik dari atom yang keluar untuk menentukan konsentrasi dari unsur yang ada.

#### 5. Combustion Methods

Pembakaran pada suhu tinggi dilakukan untuk menentukan kandungan karbon serta sulfur dalam berbagai bahan, baik organik maupun anorganik. Sampel ditimbang dengan akurat dan diletakkan pada wadah keramik atau tempat pembakaran. Biasanya, digunakan juga bersama dengan akselerator pembakaran.

#### 6. IG

*Inert gas fusion* merupakan salah satu teknik analisis kuantitatif untuk menentukan konsentrasi nitrogen, oksigen, serta hidrogen dalam bahan besi dan nonferrous. Sampel ditimbang dengan akurat dan diletakkan dalam wadah grafit murni dalam tungku fusi dengan atmosfer gas inert.

#### Perbandingan OES dan XRF untuk Analisis *Positive Material Identification* (PMI)

Dalam melakukan analisis PMI, ada dua jenis metode umum yang biasa digunakan, yakni analisis menggunakan OES dan analisis menggunakan XRF. Berikut ini adalah beberapa perbedaan yang antara kedua metode analisis PMI tersebut:

Analisis menggunakan OES meninggalkan bekas pada analisis yang dilakukan sedangkan analisis menggunakan XRF sepenuhnya non-destruktif.



OES membutuhkan sampel yang bersih, rata, dan homogen sedangkan XRF membutuhkan persiapan sampel yang setidaknya memiliki permukaan yang bersih saja.

- b. OES bisa menganalisa Carbon dalam Logam sedangkan Handheld XRF pada umumnya tidak dapat menganalisa unsur tersebut dikarenakan nature dari tekninya
- c. OES memiliki berat lebih dari 15 kg, sedangkan handheld XRF memiliki berat total kurang dari 2 kg.
- d. OES membutuhkan tenaga listrik sedangkan *handheld* XRF bisa menggunakan baterai disini *portability* lebih unggul dibandingkan dengan OES

#### 2.11.2 Solusi dari Hitachi untuk Analisis PMI

Sebagai solusi untuk analisis PMI, Hitachi menawarkan beragam rangkaian lengkap alat analisis dari OES, XRF maupun LIBS. Hitachi menawarkan banyak rangkaian alat yang bisa digunakan pada lingkungan apa saja. Tidak hanya itu, inspeksi yang dilakukan bisa dilakukan dengan waktu yang singkat dan tepat. Peralatan yang ada di sini memiliki kualitas yang tahan lama dan berefisiensi tinggi.

Hitachi – *Hi-Tech analytical science division* memiliki fokus pada solusi analisis teknologi tinggi yang didesain untuk memenuhi kebutuhan sektor industri yang terus berkembang pesat. Adanya Hitachi – *Hi-Tech analytical science division* membantu dalam menekan biaya pengeluaran, mengurangi risiko kerja, dan mampu meningkatkan efisiensi produksi.

Adanya berbagai instrumen pengujian lapang yang memiliki performa kuat dan kinerja tinggi mampu menghasilkan analisis bahan serta pelapis yang meningkatkan mutu dari semua siklus hidup produksi. Mulai dari eksplorasi bahan baku hingga inspeksi yang masuk, produksi dan kontrol kualitas, hingga daur ulang.

#### 2.12 Pengujian ketangguhan/ *drop weight test*

Pengujian *impact* merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan hadap beban kejut. Pengujian *impact* juga merupakan suatu upaya untuk lasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dimana beban tidak a terjadi secara perlahan-lahan melainkan secara tiba-tiba. Tujuan yang



ingin dicapai dalam pengujian ini adalah mengetahui ketangguhan dengan metode *drop weight impact test*.

#### 2.12.1 Metode Pengujian Impact

Tes dalam pengujian *impact* ada dua macam yaitu :

##### 1. *Drop Weight Test*

*Drop Weight Test* adalah cara mudah untuk mengevaluasi dampak kekuatan impact dari berbagai material dalam berbagai ukuran dan hasilnya. Prinsip kerja dari alat uji impact *Drop Weight* adalah suatu beban (*Pendulum*) dibiarkan jatuh bebas dengan jarak tertentu sehingga menumbuk spesimen. Sebuah massa jatuh bebas atau benda bergerak, yang menabrak sebuah struktur memberikan apa yang dinamakan beban atau gaya dinamik atau tumbuk (*dynamic impact load and force*). Dari pengujian ini dapat dilihat kerusakan spesimen yang mengalami *impact* dan ketahanan spesimen setelah mengalami beban jatuh bebas. *Drop Weight* test dikembangkan oleh laboratorium *Riset Naval*, standarisasinya berdasarkan ASTM E 208-69. *Naval Test* ( dikenal juga dengan *Nil-Ductility-Transition Temperature Test*) dimaksud untuk keperluan, yakni untuk mengetahui patah getas (*brittle fracture*) dari suatu material. Mempelajari sifat mekanik suatu material dengan melakukan berbagai macam uji bahan sangat penting dilakukan dalam rangka mencari suatu kesesuaian antara kebutuhan atau aplikasi spesifik dari suatu bahan dan sifat tertentu yang dimilikinya. Dalam kaitan itu kemajuan pengembangan dari teknologi material yang ada dilakukan dengan memodifikasi dari suatu material, sifat listrik, sifat mekanik, perlakuan yang diperlukan dalam fabrikasi dari suatu bahan hingga menghasilkan sifat - sifat yang lebih bagus dan sesuai dengan target yang diharapkan dengan sebisa mungkin mengurangi keterbatasan dari sifat suatu bahan. Pada uji *impact*, benda uji diberi beban kejut dengan kriteria tertentu seperti ketinggian *rod guide*, beban, dimensi *rod* dan *punch* juga ketebalan dan bentuk

ji. Bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan dan pendataan terhadap yang diserap pada saat pengujian. pengujian *impact* pada suatu material



dengan prosedur yang ditetapkan oleh standar pengujian *Drop Weight Impact Tester* (DWT).

Sebuah masa jatuh bebas atau benda bergerak yang menabrak sebuah struktur memberikan apa yang dinamakan beban atau gaya dinamik atau tumbuk (*dynamik impact load and force*) *Drop weight test* adalah cara mudah dan bermanfaat untuk mengavaluasi dampak kekuatan *impact* dari berbagai material dalam ukuran dan hasilnya dan permodelanya. Prinsip dari alat uji *impact drop weight* adalah suatu beban (*pendulum*) dibiarkan jatuh bebas dengan jarak tertentu sehingga menumbuk specimen. Dari pengujian ini dapat dilihat specimen yang mengalami *impact* dan ketahanan specimen setelah mengalami beban jatuh bebas.

Kerusakan pada pengujian *drop weight test* dapat ditentukan beberapa cara, antara lain:

- Pengukuran rambatan retak

Cara ini dilakukan dengan mengukur perambatan retak yang terjadi setelah spesimen diuji dengan *drop weight*. panjang retakan dan jumlah retakan menjadi referensi dalam penentuan kerusakan. semakin panjang dan banyak jumlah retakan berarti kualitas benda uji tersebut semakin buruk. Kesulitan dari cara ini adalah dalam penentuan panjang retakan karena jumlah retakan yang banyak dan letaknya yang tidak beraturan akan menyulitkan dalam pengukuran. sehingga hasil yang didapat tidak *valid* untuk dijadikan *presentase* kerusakan.

- Pengukuran kedalaman kerusakan

Dalam cara ini yang diukur adalah kedalaman kerusakan bekas tumbukan. Kedalaman bekas tumbukan akan menjadi ukuran dalam penentuan *prosentase* kerusakan.

#### Perpatahan *Impact*



Secara umum sebagai mana analisis perpatahan pada benda hasil uji rik maka perpatahan *impact* digolongkan menjadi tiga jenis, yaitu: perpatahan berserat (*fibrous fracture*), yang melibatkan mekanisme pergeseran bidang-bidang kristal di dalam bahan yang ulet (*ductile*).

Ditandai dengan permukaan patahan berserat yang berbentuk dimpel yang menyerap cahaya dan berpenampilan buram.

- Perpatahan granular/kristalin, yang dihasilkan oleh mekanisme pembelahan (*cleavage*) pada butir-butir dari bahan (logam) yang rapuh (*brittle*). Ditandai dengan permukaan patahan yang datar yang mampu memberikan daya pantul cahaya yang tinggi (mengkilat).
- Perpatahan campuran (berserat dan *granular*). Merupakan kombinasi dua jenis perpatahan di atas.

Informasi lain yang dapat dihasilkan dari pengujian impact adalah temperatur transisi bahan. Temperatur transisi adalah temperatur yang menunjukkan transisi perubahan jenis perpatahan suatu bahan bila diuji pada temperatur yang berbeda-beda. Pada pengujian dengan temperatur yang berbeda-beda maka akan terlihat bahwa pada temperatur tinggi material akan bersifat ulet (*ductile*) sedangkan pada temperatur rendah material akan bersifat rapuh atau getas (*brittle*).

#### 1. Patah Getas dan Patah Ulet

Secara umum perpatahan dapat digolongkan menjadi dua golongan umum yaitu:

##### a. Patah Getas

Merupakan fenomena patah pada material yang diawali terjadinya retakan secara cepat dibandingkan patah ulet tanpa deformasi plastis terlebih dahulu dan dalam waktu yang singkat. Dalam kehidupan nyata, peristiwa patah getas dinilai lebih berbahaya dari pada patah ulet, karena terjadi tanpa disadari begitu saja. Biasanya patah getas terjadi pada material berstruktur *martensit*, atau material yang memiliki komposisi karbon yang sangat tinggi sehingga sangat kuat namun rapuh.

Ciri-cirinya:

- a. Permukaannya terlihat berbentuk granular, berkilat dan memantulkan cahaya.
- b. Terjadi secara tiba-tiba tanpa ada deformasi plastis terlebih dahulu sehingga tidak tampak gejala-gejala material tersebut akan patah.

Tempo terjadinya patah lebih cepat

Bidang patahan relatif tegak lurus terhadap tegangan tarik.



- e. Tidak ada reduksi luas penampang patahan, akibat adanya tegangan multiaksial.

#### b. Patah Ulet

Patah ulet merupakan patah yang diakibatkan oleh beban statis yang diberikan pada material, jika beban dihilangkan maka penjalaran retakan berhenti. Patah ulet ini ditandai dengan penyerapan energi disertai adanya deformasi plastis yang cukup besar di sekitar patahan, sehingga permukaan patahan nampak kasar, berserabut (fibrous), dan berwarna kelabu. Selain itu material juga mempengaruhi jenis patahan yang dihasilkan, jadi bukan karena pengaruh beban saja. Biasanya patah ulet terjadi pada material berstruktur bainit yang merupakan baja dengan kandungan karbon rendah.

Ciri-cirinya :

- a. Ada reduksi luas penampang patahan, akibat tegangan uniaksial
- b. Tempo terjadinya patah lebih lama.
- c. Pertumbuhan retak lambat, tergantung pada beban
- d. Permukaan patahannya terdapat garis-garis benang serabut (fibrosa), berserat, menyerap cahaya, dan penampilannya buram.

## 2. Ketangguhan Bahan

Ketangguhan suatu bahan adalah kemampuan suatu bahan material untuk menyerap energi pada daerah plastis atau ketahanan bahan terhadap beban tumbukan atau kejutan. Penyebab ketangguhan bahan adalah pencampuran antara satu bahan dengan bahan lainnya. Misalnya baja di campur karbon akan lebih tangguh dibandingkan dengan baja murni. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi ketangguhan bahan adalah :

#### a. Bentuk takikan

Bentuk takikan amat berpengaruh pada ketangguhan suatu material, karena adanya perbedaan distribusi dan konsentrasi tegangan pada masing-masing takikan tersebut yang mengakibatkan energi *impact* yang dimilikinya berbeda-beda pula.

rupa jenis takikan berdasarkan kategori masing-masing. Berikut ini adalah energi *impact* yang dimiliki oleh suatu bahan berdasarkan bentuk



takikannya. Takikan dibagi menjadi beberapa macam antara lain adalah sebagai berikut :

- Takikan segitiga  
Memiliki energi *impact* yang paling kecil, sehingga paling mudah patah. Hal ini disebabkan karena distribusi tegangan hanya terkonsentrasi pada satu titik saja, yaitu pada ujung takikan.
- Takikan segi empat  
Memiliki energi yang lebih besar pada takikan segitiga karena tegangan terdistribusi pada dua titik pada sudutnya.
- Takikan Setengah lingkaran  
Memiliki energi *impact* yang terbesar karena distribusitegangan tersebar pada setiap sisinya, sehingga tidak mudah patah.

### 3. Beban

Semakin besar beban yang diberikan , maka energi *impact* semakin kecil yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen, dan demikianpun sebaliknya. Hal ini diakibatkan karena suatu material akan lebih mudah patah apabila dibebani oleh gaya yang sangat besar.

- Temperatur  
Semakin tinggi temperatur dari spesimen, maka ketangguhannya semakin tinggi dalam menerima beban secara tiba-tiba, demikianpun sebaliknya, dengan temperatur yang lebih rendah. Namun temperatur memiliki batas tertentu dimana ketangguhan akan berkurang dengan sendirinya.
- Transisi ulet rapuh  
Hal ini dapat ditentukan dengan berbagai cara, misalnya kondisi struktur yang susah ditentukan oleh sistem tegangan yang bekerja pada benda uji yang bervariasi, tergantung pada cara pengusiaannya
- Efek komposisi ukuran butir

Ukuran butir berpengaruh pada kerapuhan, sesuai dengan ukuran besarnya. Semakin halus ukuran butir maka bahan tersebut akan semakin rapuh sedangkan bila ukurannya besar maka bahan akan ulet.  
Melakukan panas dan perpatahan



Perlakuan panas umumnya dilakukan untuk mengetahui atau mengamati besar-besar butir benda uji dan untuk menghaluskan butir.

- Pengerasan kerja dan pengerjaan radiasi

Pengerasan kerja terjadi yang ditimbulkan oleh adanya deformasi plastis yang kecil pada temperatur ruang yang melampaui batas atau tidak luluh dan melepaskan sejumlah dislokasi serta adanya pengukuran keuletan pada temperatur rendah

#### 2.12.2. Notched Bar Test

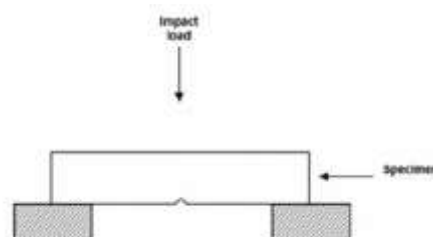
Metode pengujian *impact* untuk material dilakukan dengan *Charpy* dan *Izod*.

##### 1. Charpy

Metode pengujian *impact charpy* menggunakan standar ASTM D 5942 96. menjelaskan prosedur untuk menentukan kekuatan *impact charpy* pada material uji berbahan *composite*. pengujian ini dilakukan untuk meneliti perlakuan specimen uji *composite* saat dilakukan pengujian *impact* untuk mengetahui kekuatan dan keuletan spesimen dalam batas tertentu.

Spesifikasi dalam pengujian menggunakan ukuran dari specimen yang diuji. faktor-faktor seperti besar energi dari *Pendulum*, kecepatan *impact*, dan kondisi dari specimen akan mempengaruhi hasil pengujian. dan faktor inilah yang harus di kontrol dengan baik.

Pada pengujian *impact Charpy*, specimen uji pada kedua ujungnya ditahan oleh *anvil* kemudian dipukul dari arah belakang takikan. Takik berfungsi untuk mengkonsentrasikan tegangan saat terjadi perpatahan, meminimalkan deformasi plastis, dan meneruskan perpatahan pada bagian belakang takik specimen uji.



**Gambar 22.** Pengujian Impact Charpy





Dasar pengujian *impact Charpy* adalah penyerapan energi potensial dari *pendulum* beban yang berayun dari ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji mengalami patahan.

Beberapa kelebihan dari metode *Charpy*, antara lain :

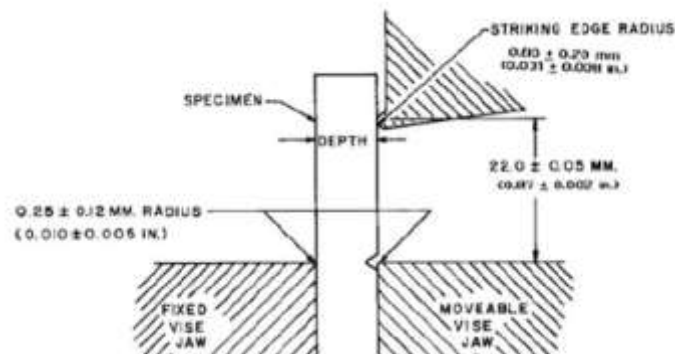
- Hasil pengujian lebih akurat.
- Pengerjaannya lebih mudah dipahami dan dilakukan.
- Menghasilkan tegangan uniform di sepanjang penampang.
- Waktu pengujian lebih singkat.

Sementara kekurangan dari metode *Charpy*, yaitu :

- Hanya dapat dipasang pada posisi horizontal.
- Spesimen dapat bergeser dari tumpuan karena tidak dicekam.
- Pengujian hanya dapat dilakukan pada spesimen yang kecil.

## 2. Izod

Pada pengujian dengan *Izod*, spesimen uji dipasang vertikal dan dijepit salah satu ujungnya pemukulan oleh *Pendulum* dilakukan dari arah depan. Pengujian *Izod* menggunakan Standar ASTM D 256-97. Dalam pengujian ini spesimen uji yang digunakan menggunakan *notch*. *Notch* berfungsi untuk mengkonsentrasikan tegangan yang terjadi pada spesimen sehingga patahnya merata dan tidak terjadinya kerusakan saat melakukan pengujian *impact*.



**Gambar 23.** Pengujian Impact Izod



Kelebihan metode Izod :

- Tumbukan tepat pada takikan dan spesimen tidak mudah bergeser karena salah satu ujungnya dicekam.
- Dapat menggunakan spesimen dengan ukuran yang lebih besar.

Kerugian penggunaan metode *Izod* :

- Biaya pengujian lebih mahal.
- Pembebanan yang dilakukan hanya pada satu ujungnya, sehingga hasil yang diperoleh kurang baik.
- Hasil perpatahan kurang baik.
- Waktu yang digunakan untuk pengujian cukup panjang karena prosedur pengujian yang banyak.

### 2.12.3. Energi Mekanik

Energi mekanik pada suatu benda adalah gabungan dari energi potensial dan energi kinetik suatu benda. Energi potensial merupakan energi yang berkaitan dengan kedudukan suatu benda terhadap suatu titik acuan. Dengan demikian, titik acuan akan menjadi tolak ukur penentuan ketinggian suatu benda.

Energi kinetik adalah energi yang berkaitan dengan gerakan suatu benda. Jadi, setiap benda yang bergerak dikatakan memiliki energi kinetik. Meski gerak suatu benda dapat dilihat sebagai suatu sikap *relative*, namun penentuan kerangka acuan dari gerak harus tetap dilakukan untuk menentukan gerak itu sendiri.

### 2.12.4. Gerak Jatuh Bebas

Gerak jatuh bebas adalah gerak jatuh benda pada arah vertikal dari ketinggian  $h$  tertentu tanpa kecepatan awal ( $V_0 = 0$ ), jadi gerak benda hanya dipengaruhi oleh gravitasi bumi. Pada gerak jatuh bebas, waktu jatuh benda bebas hanya dipengaruhi oleh dua *factor* saja, yaitu ketinggian ( $h$ ) dan gravitasi bumi ( $g$ ). Jadi berat dari besaran-besaran lain tidak mempengaruhi waktu jatuh.



Pada alat uji *impact* dijatuhkan dari keadaan diam, percepatannya akan selama jatuh. Efek gesekan udara dan berkurangnya percepatan akibat ak diabaikan, gerak ini termasuk dalam gerak jatuh bebas.