

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian terhadap las gesek sudah banyak dilakukan sebelumnya. Beberapa penelitian terkait kekuatan tarik, nilai kekerasan dan struktur mikro sudah mulai dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Husodo dkk (2013), melakukan penelitian las gesek dua buah logam baja karbon St 41 pada produk *back spring pin*. Dalam penelitian ini parameternya menggunakan variasi waktu, yaitu 35, 45, 55 dan 65 detik, dengan putaran mesin 4215 rpm, tekanan geseknya sebesar 127,27 kg/cm² dan tekanan tempa sebesar 1018,18 kgf/cm². Penelitian ini menggunakan pengujian struktur mikro, tarik dan kekerasan pada hasil penyambungannya. Hasil uji struktur mikro menunjukkan hasil penyambungan dengan waktu 45 detik menghasilkan panas tertinggi, pengujian yang lebih dari 45 detik menghasilkan panas yang cenderung menurun, karena efek gesekan baja St 41 menurun. Hasil pengujian tarik menunjukkan hasil yang tertinggi sebesar 414,54 N/mm² dengan waktu gesek sebesar 45 detik. Hasil kekerasan *rockwell* menunjukkan nilai yang terbaik pada waktu gesek 45 detik, dengan nilai kekerasan pada logam las sebesar 45,5 HRA dan HAZ sebesar 43 HRA.

Hakim (2013), melakukan penelitian tentang pengaruh tekanan gesek terhadap kekuatan tarik, struktur mikro dan kekerasan pada pengelasan gesek berbahan silinder pejal logam *stainless steel* 304. Parameter tekanan gesek yang digunakan adalah 20,30,40,50,60,70,80,90,100,110 dan 120 MPa. Hasil dari penelitian tersebut adalah, kekuatan tarik yang memiliki kekuatan tertinggi merupakan variasi tekanan 120 MPa sebesar 685 MPa, sedangkan nilai kekuatan tarik terendah merupakan variasi tekanan 20 MPa sebesar 402 MPa. Pada hasil pengujian struktur mikro menunjukan bahwa tekanan gesek berpengaruh pada perubahan struktur mikro pada daerah *stainless steel* 304. Pada variasi tekanan 120 MPa struktur mikro daerah las berfasa austenit berbutir kecil, daerah HAZ berfasa austenit lebih besar dan daerah *base metal* berbutir besar dengan fasa austenit. Sedangkan pada variasi tekanan 20 MPa tidak mengalami perubahan struktur mikro antara HAZ dengan *base metal*. Pada hasil nilai kekerasan, variasi tekanan juga

mempengaruhi. Pada variasi tekanan 120 MPa nilai kekerasan pada base metal lebih tinggi dibandingkan dengan variasi tekanan 20 MPa, namun pada daerah sambungan las nilai kekerasan variasi tekanan 20 MPa lebih tinggi dibandingkan variasi tekanan 120 MPa.

Sathiya dkk (2005), melakukan penelitian penyambungan dua buah logam *stainless steel* 304 dengan metode *friction welding*. Parameter yang digunakan adalah tekanan gesek (1,5 dan 2,0 MPa), waktu gesek (3,5,8 detik), tekanan upset (4,0 dan 4,5 MPa) dan waktu upset (3,5,7 detik). Pengujian yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengujian tarik dan nilai kekerasan, hasil yang didapat dari penelitian kekuatan tarik tertinggi terdapat pada parameter waktu gesek 3 dan 5 detik sebesar 610 MPa, dan kekuatan tarik terendah pada waktu gesek 8 detik sebesar 530 MPa. Pada penelitian ini nilai kekuatan tarik RAW material lebih kecil dibandingkan nilai kekuatan tarik sambungan variasi waktu gesek 3 dan 5 detik, nilai kekuatan tarik RAW material sebesar 580 MPa. Hasil nilai kekerasan tertinggi didapat pada variasi waktu gesek 8 detik sebesar 260 HV, sedangkan nilai kekerasan terendah didapat pada variasi waktu gesek 3 detik sebesar 235 HV. Hal ini menunjukkan semakin lama waktu gesek maka suatu sambungan semakin keras dan getas, hal ini terbukti dari kedua hasil pengujian tersebut.

Frayudi (2013), melakukan penelitian tentang pengaruh waktu gesek terhadap kekuatan tarik dan kekerasan mikro pada material baja karbon rendah. Hasil dari penelitian tersebut adalah, nilai kekuatan tarik tertinggi terjadi pada pengelasan dengan waktu 8 menit sebesar 305,15 N/mm². Untuk nilai kekerasan vickers tertinggi terdapat pada daerah las sebesar 212,8 VHN, untuk daerah HAZ rata-rata kekerasannya adalah 174,08 VHN, sedangkan daerah logam induk rata-rata kekerasannya sebesar 158,96 VHN.

Sanyoto dkk (2012), melakukan penelitian tentang penyambungan dua buah pipa baja karbon rendah. Parameter yang digunakan dalam penelitiannya adalah waktu gesek (15,23,25,30,35 detik), tekanan gesek 15 kg/cm², tekanan tempa 70 kg/cm². Pengujian yang digunakan yaitu pengujian kekerasan *rockwell* dan struktur mikro. Hasil penelitian menunjukkan hasil kekerasan tertinggi dimiliki oleh sambungan dengan waktu gesek 35 detik, sedangkan hasil kekerasan terendah

dimiliki oleh sambungan dengan waktu gesek 15 detik. Semakin lama waktu gesek yang diberikan, maka nilai kekerasan makin tinggi. Namun dalam penelitian ini belum dilaksanakan pengujian tarik

Fawaid dkk (2012), melakukan penelitian tentang karakteristik AISI 304 sebagai material friction welding. Nilai kekerasan AISI 304 yang disambung dengan AISI 202 menggunakan parameter waktu gesek 30 detik dan 40 detik mempunyai nilai kekerasan pada AISI 304 kekerasan HAZ sebesar 686 HV dan 567 HV, nilai kekerasan dipengaruhi oleh waktu gesek dan presentase Cr didalam komposisi kimia material. Namun dalam penelitian ini belum ada pengujian tarik.

Dari penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan bahwa terdapat beberapa parameter penting dalam pelaksanaan proses penyambungan dengan metode *friction welding*, yaitu waktu gesek, tekanan gesek dan tekanan tempa. Hal tersebut bisa membuat sambungan menjadi lebih kuat. Maka dari itu penelitian selanjutnya akan menggunakan parameter yang sesuai dengan proses penyambungan pejal antara *stainless steel* 304 dan baja St 42 perlu dilakukan agar hasil penyambungan menjadi maksimal.

2.2 Dasar Teori

Perkembangan teknik penyambungan terutama dibidang pengelasan saat ini sudah berkembang pesat khususnya di industri konstruksi dan otomotif. Dalam hal ini meliputi dibidang rangka baja, jembatan, saluran pipa, perkapalan, bejana tekan, pipa saluran, rel kendaraan dan lain sebagainya. Las juga dapat digunakan untuk reparasi untuk berbagai macam, misalnya untuk mengisi lubang-luban pada coran dan mempertebal bagian logam yang aus dan lain sebagainya (Wiryosumarto dan Okumura; 2008). Secara sederhana dapat didefinisikan pengelasan adalah proses penyambungan material sampai titik lebur material tercapai baik menggunakan bahan tambahan ataupun tidak dan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang di las.

Definisi pengelasan menurut *Deutch Industrie Normen* (DIN) las adalah suatu ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Metode pengelasan dibagi menjadi beberapa macam diantaranya:

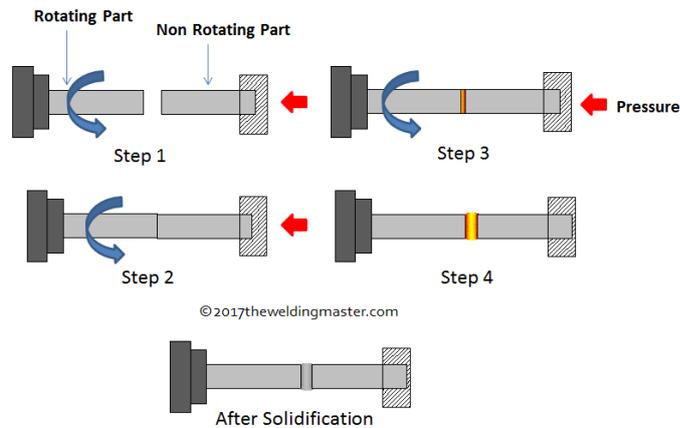
1. Pengelasan cair adalah metode pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai cair dengan sumber panas dari busur listrik.
2. Pengelasan tekan adalah metode pengelasan dimana sebuah sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan menjadi satu hingga menyambung.
3. Pematrian adalah metode pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah.

2.2.1 Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)

Pengelasan gesek merupakan metode penyambungan dua buah material logam dalam keadaan padat. Penyambungan dua buah material logam ini terjadi akibat adanya gesekan diantara kedua permukaan material logam sampai ke titik leburnya. Pengelasan gesek sering di aplikasikan di dalam bidang manufaktur sebuah perusahaan. Pengelasan gesek dapat diklasifikasikan menjadi 3 macam, yaitu *Continous drive friction welding (CDFW)*, *Friction stir welding (FSW)* dan *Linier friction welding (LFW)*.

2.2.2 *Continuous Drive Friction Welding (CDFW)*

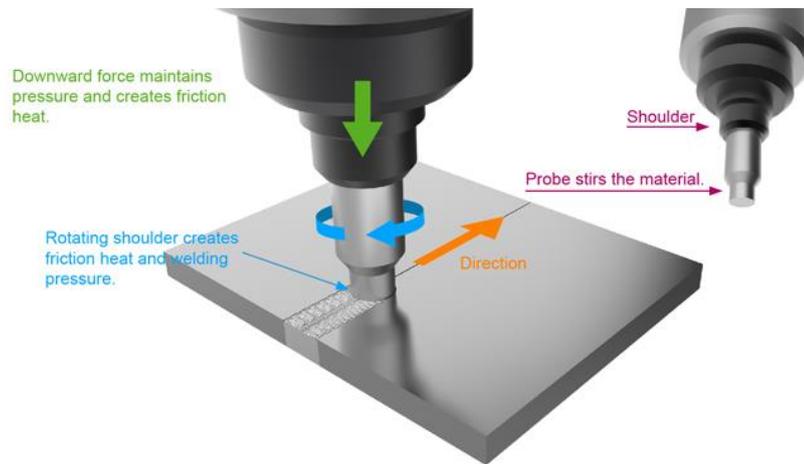
Continuous drive friction welding adalah metode pengelasan yang memanfaatkan energi panas yang ditimbulkan antara dua permukaan benda yang saling bergesekan. Gesekan terjadi karena salah satu benda berputar dan benda yang lainnya diberi gaya aksial sehingga dua permukaan saling bergesekan. Terdapat beberapa parameter yang digunakan untuk menghasilkan sambungan CDFW yang baik (Ozdemir, 2005). Parameter yang biasa digunakan dalam metode pengelasan CDFW adalah waktu gesek, tekanan gesek, waktu *upset*, tekanan *upset* dan kecepatan putaran. Skema pengelasan CDFW ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Skema *continuous drive friction welding* (*The welding master* <http://www.theweldingmaster.com/friction-welding/>)

2.2.3 *Friction Stir Welding* (FSW)

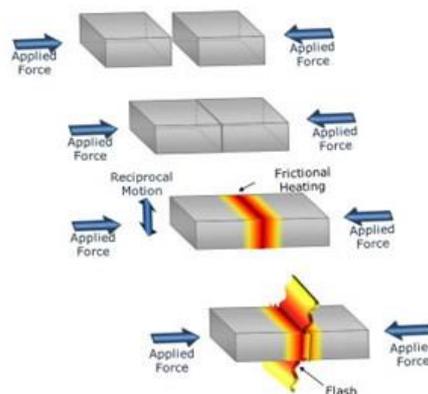
Friction stir welding adalah metode pengelasan yang memanfaatkan gesekan dari benda kerja dengan tools yang berputar sepanjang garis sambungan diantara dua benda kerja sehingga menghasilkan panas secara mekanis dan terbentuk sambungan las. Proses pengelasan FSW terjadi pada saat kondisi padat, karena material yang digunakan tidak sampai mencair pada saat proses penyambungan. Pengelasan FSW biasanya menggunakan beberapa parameter yang sering digunakan, diantaranya waktu pengelasan, putaran tools dan tekanan tools. Pengelasan FSW hanya bisa diaplikasikan dalam penyambungan material jenis plat. Skema pengelasan FSW ditunjukkan pada gambar 2.2



Gambar 2. 2 Skema *Friction stir welding* (*The Welding Master* <http://www.theweldingmaster.com/friction-stir-welding/>)

2.2.4 *Linier Friction Welding* (LFW)

Linier friction welding adalah metode pengelasan dengan cara salah satu benda kerja dipasang pada posisi diam dengan memberikan gaya kepada benda yang bergerak secara linier sehingga terjadi gesekan dan menimbulkan panas dari gesekan antara dua benda tersebut. Proses gesekan diantara dua benda tersebut akan menghasilkan flash dan kedua benda tersebut telah menyatu. Skema pengelasan LFW ditunjukkan pada gambar 2.3



Gambar 2. 3 Skema *Linier friction welding* (*Job Knowledge 146* <https://www.twi-global.com>)

2.2.5 Kelebihan dan Kelemahan *Friction Welding*

Friction welding sama seperti halnya dengan metode pengelasan lainnya yang memiliki kelebihan dan kelemahan, yaitu:

1. Kelebihan *friction welding*
 - a. Kebersihan permukaan sambungan tidak diperlukan, karena selama proses *friction* permukaan akan terkelupas dan terdeformasi kebagian luar.
 - b. Tidak memerlukan logam pengisi, pelindung flux dan gas pelindung selama proses *friction*.
 - c. Tidak terdapat cacat akibat fenomena pencairan dan pembekuan.
 - d. Dimungkinkan untuk menyambung dua jenis material logam yang berbeda.
2. Kelemahan *friction welding*
 - a. Benda yang disambung harus simetris, jika tidak simetris maka hasilnya kurang bagus.
 - b. Salah satu material yang akan disambung harus memiliki sifat yang mampu dideformasi secara plastis.

2.2.6 Aplikasi Pengelasan Gesek dalam Kehidupan Sehari hari

Aplikasi pengelasan gesek banyak dijumpai di dalam kehidupan sehari hari. Contoh aplikasi pengelasan gesek yang menggunakan material *Stainless Steel* dan *Low Carbon Steel* adalah pembuatan *water pump* dan *pump motor shaft* seperti pada gambar 2.4 dan gambar 2.5.



Gambar 2. 4 Water Pump (mtiwelding.com)



Gambar 2. 5 Pump Motor Shaft (mtiwelding.com)

2.2.7 Baja Karbon dan Paduan Baja (St 42)

Baja karbon merupakan salah satu jenis baja paduan yang terdiri atas unsur besi (Fe) dan karbon (C). Dimana besi merupakan unsur dasar dan karbon merupakan unsur paduan utamanya. Didalam proses pembuatan baja juga ditambahkan paduan seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si) dan mangan (Mn). Baja karbon memiliki kandungan unsur karbon dalam besi sebesar 0,2% hingga 2,14%, dimana kandungan karbon berfungsi sebagai unsur penguat dalam struktur baja.

Menurut pendefinisian ASTM *handbook* vol.1:148 (1993), baja karbon dapat diklasifikasikan berdasarkan jumlah persentase komposisi kimia karbon dalam kandungan baja, yaitu sebagai berikut:

1. Baja karbon rendah (*low carbon steel*)

Baja karbon rendah merupakan baja dengan kandungan unsur karbon dalam struktur baja kurang dari 0,3%. Baja karbon rendah ini memiliki ketangguhan serta keuletan yang tinggi, namun baja jenis ini memiliki sifat kekerasan dan ketahanan aus yang rendah. Baja karbon rendah biasanya diaplikasikan untuk komponen struktur bangunan, pipa gedung dan lain sebagainya.

2. Baja karbon sedang (*medium carbon steel*)

Baja karbon sedang merupakan baja dengan kandungan unsur karbon dalam struktur baja sekitar 0,3% hingga 0,59%. Baja karbon sedang memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan baja karbon rendah, yaitu memiliki sifat mekanis yang lebih kuat dan kekerasan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan baja karbon rendah. Baja karbon sedang biasanya diaplikasikan untuk pembuatan poros, rel kereta api, baut dan lain sebagainya.

3. Baja karbon tinggi (*high carbon steel*)

Baja karbon tinggi merupakan baja dengan kandungan unsur karbon dalam struktur baja sekitar 0,6% hingga 1,4%. Baja karbon tinggi memiliki sifat tahan panas, kekerasan serta kekuatan tarik yang sangat tinggi namun baja ini memiliki sifat

keuletan yang rendah sehingga menjadi lebih getas. Baja karbon tinggi biasanya diaplikasikan untuk pembuatan alat-alat perkakas seperti palu, kikir, gergaji dan lain sebagainya.

Baja St 42 merupakan jenis baja karbon rendah, kadar karbon mencapai 0,30%. Strukturnya terdiri dari *ferrite* dan sedikit *perlite*, sehingga baja jenis ini kekuatannya rendah, namun keuletannya tinggi. Komposisi baja ST 42 ditunjukkan dalam tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Komposisi paduan baja St 42 (www.matweb.com/ASTM A572 Steel)

| Paduan Baja Karbon Rendah ST-42 | | | | |
|---------------------------------|-------|------|-------|-------|
| C | N | Mn | P | Si |
| 0.21 Max | 0.009 | 1.35 | 0.040 | 0.040 |

Tabel 2.2 Sifat mekanis baja St 42 (www.matweb.com/ASTM A572 Steel)

| | |
|------------------------|-----|
| Tensile Strength (MPa) | 490 |
| Yield Strength (MPa) | 290 |
| Hardness Brinell | 123 |
| Elongation (%) | 20 |

2.2.8 *Stainless Steel* dan Paduan SS 304

Stainless steel merupakan baja paduan yang memiliki kandungan minimal 10,5% Cr. Daya tahan *stainless steel* terhadap oksidasi dalam suhu lingkungan yang tinggi biasanya karena adanya tambahan minimal 13% dari berat krom. Krom membuat lapisan tidak aktif, kromium III oksida (Cr₂O₃) ketika bertemu dengan kandungan oksigen. Logam ini menjadi tahan air dan udara karena logam terlindungi di bawah lapisan tersebut, fenomena ini biasanya disebut dengan *passivation*.

Baja tahan karat dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. Baja tahan karat *feritic*

Feritic mempunyai kadar krom sekitar 17% dan karbon sekitar 0,08% – 0,2%. Memiliki sifat ketahanan terhadap korosi yang semakin meningkat terhadap suhu udara yang tinggi.

2. Baja tahan karat *austenitic*

Austenitic mempunyai kadar krom sekitar 17% - 25% dan nikel sekitar 8% - 20% ditambah unsur tambahan untuk mencapai sifat yang diinginkan. Baja tahan karat ini memiliki sifat *non-magnetic*. Jenis dari baja tahan karat ini adalah seri 304, 316, 317, 321, 347, *L-grade*.

3. Baja tahan karat *martensitic*

Martensitic mempunyai kadar krom sekitar 12% - 14% dan karbon pada kisaran 0,08% - 0,2%. Kadar karbon yang tinggi dalam baja merupakan hal yang baik dalam merespon panas untuk memberikan beberapa kekuatan mekanis, perlakuan permukaan dan korosi. Jenis dari baja tahan karat ini adalah seri 410, 416, 420, 431.

4. Baja tahan karat dupleks

Dupleks merupakan komponen terbaru yang mempunyai keseimbangan kromium, nikel, nitrogen dan *molybdenum* pada campuran yang sama antara jenis *feritik* dan *austenitic*. Baja tahan karat jenis ini memiliki kekuatan yang sangat tinggi, sangat tahan terhadap korosi, bahkan direkomendasikan pada suhu -50°C sampai dengan 300°C. Jenis dari baja tahan karat ini adalah seri UNS S31803, UNS S32750, UNS S32.

Stainless steel 304 termasuk kedalam jenis baja tahan karat *austenitik*. Material *stainless steel* 304 mempunyai sifat *non-magnetic* dan bisa dikeraskan melalui metode *cold working*. Tipe *stainless steel* 304 memiliki kandungan 18% Cr dan 8% Ni (*iron and steel society*, 1999). *Stainless steel* 304 merupakan jenis baja tahan karat yang paling mudah dibentuk dibandingkan dengan seri *stainless steel* yang lainnya, *stainless*

steel 304 merupakan bahan yang mempunyai kualitas yang sangat baik sebagai bahan untuk peralatan rumah tangga atau peralatan industri. Hal ini membuat *stainless steel 304* merupakan material yang paling banyak digunakann dibandingkan dengan seri *stainless steel* lainnya. Komposisi *stainless steel 304* ditunjukkan dalam tabel 2.3 sebagai berikut:

Tabel 2.3 Komposisi Paduan *Stainless Steel 304* (Kirik, I., dan Ozdemir, N., 2012)

| Paduan <i>Stainless Steel 304</i> | | | | | | |
|-----------------------------------|------|-------|-------|------|-------|------|
| C | Mn | P | S | Mo | Cr | Ni |
| 0.042 | 1.47 | 0.032 | 0.032 | 0.30 | 18.25 | 8.09 |

Tabel 2.4 Sifat Mekanis *Stainless Steel 304* (Chockalingam dan Lee, 2012)

| | |
|------------------------|--------|
| Tensile Strength (MPa) | 627 |
| Yield Strength (MPa) | 312 |
| Hardness (HV) | 251,57 |
| Elongation (%) | 57 |

2.2.9 Pengujian Struktur Mikro

Ilmu logam terdapat dua macam, yaitu metalurgi dan metallografi. Metalurgi merupakan ilmu yang mempelajari tentang cara pemisahan logam dari unsur-unsur yang dikandung dalam logam tersebut. Sedangkan metallografi ilmu yang mempelajari tentang cara pemeriksaan logam untuk mengetahui sifat, struktur, temperatur dan persentase campuran logam tersebut. Dalam metallografi terdapat dua cara pengujian untuk mengetahui struktur logam tersebut, yaitu pengujia mikro dan pengujian makro.

Pengujian mikro merupakan proses pengujian logam yang bentuk kristalnya sangat halus, sehingga didalam pengujiannya menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran mencapai 500 kali. Pengujian makro merupakan proses pengujian bahan menggunakan mata terbuka dengan tujuan dapat memeriksa lubang atau celah pada permukaan material logam.

Angka kevalidan pengujian makro berkisar diantara 0,5 hingga 50 kali. Pengujian ini biasanya digunakan untuk menguji bahan yang memiliki struktur kristal yang tergolong kasar.

Tahapan untuk melakukan pengujian struktur mikro adalah sebagai berikut:

1. Pemotongan

Proses pemotongan material menggunakan gergaji dan dilakukan secara manual. Material yang dipotong juga tidak seluruhnya, melainkan hanya bagian yang diperlukan untuk pengujian saja.

2. Pengamplasan

Proses pengamplasan dilakukan setelah proses pemotongan selesai. Pengamplasan bertujuan untuk menghaluskan permukaan benda yang dipotong untuk diamati dalam pengujian struktur mikro, tujuan lain pengamplasan adalah agar cahaya dapat memantul keatas dengan baik. Dalam proses pengamplasan juga dilakukan pendinginan secukupnya. Cara pengamplasan ini dimulai dari penggunaan amplas yang paling kasar sampai dengan amplas yang paling halus.

3. Pemolesan

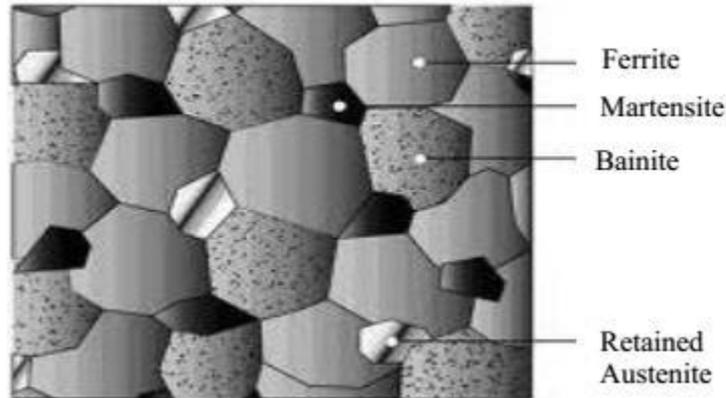
Pemolesan bertujuan untuk membuat material berkilau serta membersihkan kotoran pada permukaan material. Bahan yang dipakai dalam pemolesan ini biasanya menggunakan autosol.

4. Etsa

Etsa merupakan proses pengikisan batas butir secara efektif dan terkendali pada permukaan material dengan bantuan senyawa kimia. Proses etsa ini bertujuan agar material yang akan diamati terlihat lebih jelas dan detail strukturnya pada saat proses pengujian.

Dalam pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengetahui kondisi dari suatu logam. Pengujian ini melibatkan batas butir dan fasa-fasa yang

ada didalam logam paduan tersebut. Dalam gambar 2.6 ditunjukkan batas butir dan fasa-fasa yang terdapat pada suatu logam.



Gambar 2. 6 Struktur mikro pada suatu logam paduan (Apriyanto, 2015)

1. *Ferrite*

Fase larutan padat yang memiliki struktur BBC (*Body Centered Cubic*). Secara umum fase ini bersifat lunak dan ulet. Kelarutan karbon dalam fase larutan padat lain didalam baja, yaitu fase *austenite*.

2. *Pearlite*

Pearlite merupakan suatu campuran *lamellar* dari *ferrite* dan *cementite*. *Pearlite* memiliki struktur yang lebih keras dibandingkan dengan *ferrite*, yang terutama disebabkan oleh adanya fase *cementite* atau *carbide* dalam bentuk *lamellar*.

3. *Austenite*

Fase *austenite* memiliki struktur atom FFC (*Face Centered Cubic*). Dalam keadaan setimbang, *austenite* ditemukan pada temperatur yang tinggi. Fase ini bersifat *non-magnetic* dan ulet pada temperatur tinggi.

4. *Cementite*

Fase *cementite* dalam sistem paduan berbasis besi adalah *stoichiometric inter-metallic compound* Fe_3C yang keras dan getas. *Cementite* sangat berperan dalam pembentukan sifat-sifat mekanik akhir baja.

5. *Martensite*

Martensite adalah mikro konsituen yang dapat terbentuk tanpa melalui proses difusi. Konsituen ini terbentuk dalam proses pendinginan *austenite* secara cepat. Misal melalui proses quenching dalam medium air. *Martensite* terbentuk dalam bentuk seperti jarum yang memiliki sifat sangat keras dan getas.

2.2.10 Pengujian Nilai Kekerasan

Kekerasan (*hardness*) adalah salah satu sifat mekanik material. Pengujian kekerasan adalah ketahanan material terhadap deformasi tekan. Deformasi yang terjadi bisa terjadi dua macam, yaitu deformasi plastis ataupun deformasi elastis. Deformasi plastis terjadi pada permukaan atau bagian material yang lunak, sedangkan deformasi elastis terjadi pada permukaan atau bagian material yang lebih keras. Kekerasan suatu material bisa mempengaruhi efek deformasi.

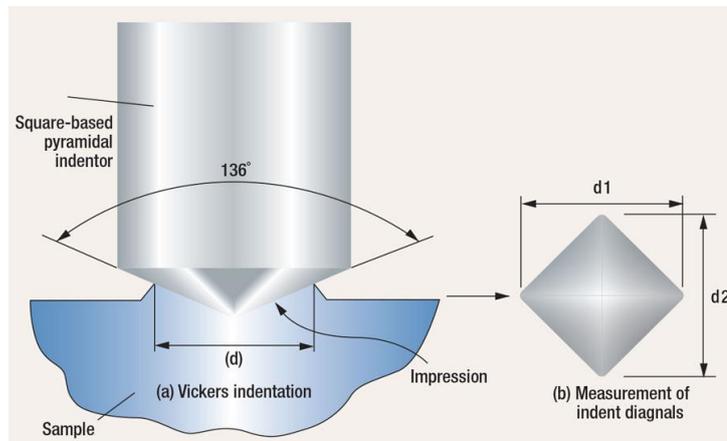
Untuk mengetahui nilai kekerasan pada suatu logam, maka perlu dilakukan pengujian. Salah satu pengujian kekerasan yaitu dengan menggunakan cara uji kekerasan vickers. Uji kekerasan *vickers* menggunakan indentor berbentuk piramida yang pada sisi dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besar sudut antar permukaan piramida yang saling berhadapan sebesar 136°. Nilai ini dipilih karena mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penekan pada uji kekerasan brinell. (Dieter, 1988)

Angka kekerasan vickers dapat didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Nilai VHN dapat ditentukan dari persamaan 2.1 berikut.

$$VHN = \frac{2P \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{(1,854)P}{d^2} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

- P = Beban yang digunakan (kgf)
- d = Panjang diagonal rata-rata (mm)
- Θ = Sudut antara permukaan intan (136°)



Gambar 2. 7 Skema Pengujian Kekerasan Vickers (forgemag.com/articles/84692-hardness-testing-machine)

2.2.11 Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah metode yang paling sering digunakan untuk menentukan sifat mekanik dari suatu material seperti kekuatan, keuletan, ketangguhan dan modulus elastisitas. Spesimen yang biasa digunakan dalam pengujian tarik biasanya berbentuk pejal, pipa dan plat. Dalam melakukan pengujian tarik sebelumnya harus menyiapkan standart untuk menentukan berapa ukuran material yang akan digunakan dalam pengujian tarik. Standart yang biasa digunakan dalam pengujian tarik diantaranya ada ASTM, JIS dan DIN. Proses uji tarik dilakukan dengan cara menjepit dua ujung benda, salah satu dihubungkan dengan perangkat pengukur beban dari mesin uji dan ujung yang lain dihubungkan dengan perangkat peregangan (Djaprie, 2000:214).

Benda uji diberikan beban gaya tarik satu sumbu yang semakin bertambah secara kontinu, bersamaan dengan itu dilakukan juga pengamatan perpanjangan yang dialami oleh benda uji. Data yang didapat dari pengujian berupa perubahan panjang dan beban yang ditampilkan berbentuk grafik tegangan – regangan. Grafik tegangan – regangan ditunjukkan oleh gambar 2.8



Gambar 2. 8 Grafik tegangan - regangan (Sastranegara, 2010)

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis dari suatu material yang diuji. Sifat mekanis yang dapat diketahui setelah melakukan pengujian diantaranya adalah kekuatan tarik material, kekuatan luluh material, modulus elastisitas material dan ketangguhan material.

A. Sifat mekanis material

Pengujian tarik pada suatu material logam ataupun non logam akan memberikan hasil yang hampir lengkap mengenai material tersebut terhadap pembebanan mekanis. Data yang dapat dihasilkan dari pengujian tarik adalah:

1. Batas elastis (σ_E)

Batas elastis merupakan batas tegangan. Bila benda uji diberikan beban sampai tegangan sesuai batas yang ditentukan dan kemudian bebannya dihilangkan maka benda uji akan kembali seperti bentuk awal.

2. Batas proporsional (σ_p)

Batas proporsional merupakan batas tegangan – regangan dimana batas tersebut memiliki proporsionalitas antara satu dengan yang lainnya. Dengan bertambahnya tegangan, maka akan bertambah juga regangan proporsionalnya.

3. Deformasi plastis

Deformasi plastis merupakan keadaan benda uji yang mengalami perubahan bentuk akibat adanya regangan dan tidak bisa kembali seperti bentuk awalnya.

4. Titik luluh (*yield point*) dan kekuatan luluh (*yield strength*)

Titik tersebut merupakan batas benda uji yang terus mengalami deformasi tanpa adanya penambahan beban. Tegangan luluh (*yield stress*) merupakan tegangan (*stress*) dimana akan mengakibatkan benda uji menunjukkan mekanisme luluh. Titik luluh atau kekuatan luluh adalah kemampuan benda uji untuk menahan deformasi jika digunakan pada struktural. Titik luluh juga harus dilewati oleh benda uji jika benda uji digunakan pada proses manufaktur.

5. Kekuatan tarik maksimum

Kekuatan tarik maksimum (*Ultimate Tensile Strength*) adalah kekuatan benda uji untuk menampung tegangan maksimal sampai sebelum benda uji tersebut patah.

6. Kekuatan putus

Kekuatan putus (*breaking strength*) adalah proses ketika benda uji melewati beban maksimum dan terus mengalami deformasi sehingga benda uji putus. Cara menentukan kekuatan putus adalah dengan cara beban saat benda uji putus dibagi luas penampang awal benda uji. Pada bahan yang bersifat getas, kekuatan putus dengan kekuatan tarik maksimum memiliki nilai besaran yang sama. Sedangkan pada bahan yang bersifat lebih ulet, kekuatan putus memiliki nilai yang lebih kecil jika dibandingkan dengan kekuatan tarik maksimum.

7. Keuletan

Keuletan adalah fenomena yang terjadi ketika benda uji menahan deformasi sampai benda uji tersebut mengalami patahan. Bahan dalam bidang manufaktur yang nantinya akan melewati proses pembentukan harus memiliki sifat ini. Mengukur nilai keuletan melalui pengujian tarik bisa menggunakan persamaan 2.2 seperti berikut

Elongasi (persentasi perpanjangan)

$$\varepsilon (\%) = \left[\frac{(L_f - L_o)}{L_o} \times 100\% \right] \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

L_o = panjang awal benda uji

L_f = panjang akhir benda uji

8. Modulus elastisitas (E)

Modulus elastisitas adalah nilai kekakuan dari suatu material. Disini menunjukkan bahwa semakin besar nilai modulus elastisitas, maka semakin besar juga nilai kekakuan dari benda uji tersebut. Nilai modulus elastisitas tidak dapat dirubah kecuali dengan mengubah struktur paduan dari benda ujinya, karena modulus elastisitas terbentuk dari ikatan atom-atom yang terdapat di struktur benda uji.

9. Modulus ketangguhan

Modulus ketangguhan adalah kemampuan dari benda uji untuk menyerap energi sampai benda uji mengalami patahan. Sebuah benda uji yang memiliki nilai modulus ketangguhan yang tinggi jika mengalami pembebanan yang berlebihan maka akan mengalami distorsi, namun hal ini merupakan sebuah kelebihan dari suatu benda uji karena benda uji yang memiliki ketangguhan yang lebih kecil jika

akan terjadi patahan tidak akan ada peringatan terlebih dahulu.

10. Modulus kelentingan

Modulus kelentingan adalah kemampuan benda uji untuk menyerap energi yang berasal dari luar tanpa benda uji tersebut mengalami kerusakan. Nilai kelentingan didapat dari luas segitiga bentukan dari daerah elastis.